Универсальное издание

В ПОМОЩЬ ШКОЛЬНОМУ УЧИТЕЛЮ

В.А. ВОЛКОВ

ПОУРОЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ

ПО ФИЗИКЕ

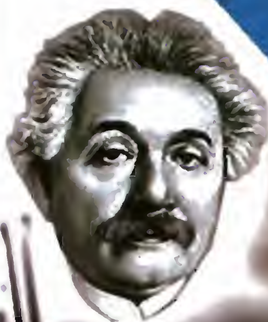






$E=mc^2$











11 КЛАСС

В ПОМОЩЬ ШКОЛЬНОМУ УЧИТЕЛЮ

В. А. ВОЛКОВ

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ПОУРОЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ ПО ФИЗИКЕ

- *Нестандартные уроки*
- *Дополнительные материалы, исторические обзоры*
- *Самостоятельные, контрольные работы*
- *Эксперименты, тесты*

11 класс

МОСКВА • «ВАКО» • 2009

УДК 372.853
ББК 22.3я72
В67

Волков В.А.

В67 Универсальные поурочные разработки по физике: 11 класс. – М.: ВАКО, 2009. – 464 с. – (В помощь школьному учителю).

ISBN 978-5-94665-981-9

В книге учитель сможет найти все необходимые для подготовки и проведения полноценных уроков материалы: подробные планы уроков, методические советы и рекомендации, контрольные и лабораторные работы, тестовые и проверочные задания, демонстрационные эксперименты. Пособие содержит полный комплект поурочных планов, соответствующих учебникам физики для 11 класса Г.Я. Мякишева, Б.Б. Буховцева (М.: Просвещение) и В.А. Касьянова (М.: Дрофа).

Полноценно может использоваться с разными учебными комплектами, предоставляя педагогу возможность вариативного освещения тем курса.

УДК 372.853
ББК 22.3я72

ISBN 978-5-94665-981-9

Тематическое планирование учебного материала

Основы электродинамики (21 ч)

Магнитное поле (10 ч)

Взаимодействие токов. Вектор магнитной индукции. Линии магнитной индукции. Модуль вектора магнитной индукции. Сила Ампера. Применение закона Ампера. Сила Лоренца. Магнитные свойства вещества.

Электромагнитная индукция (11 ч)

Открытие электромагнитной индукции. Магнитный поток. Правило Ленца. Закон электромагнитной индукции. ЭДС-индукции в движущихся проводниках. Самоиндукция. Индуктивность.

Колебания и волны (38 ч)

Механические колебания (7 ч)

Свободные и вынужденные колебания. Условия возникновения свободных колебаний. Математический маятник. Динамика колебательных движений. Вынужденные колебания. Резонанс.

Электромагнитные колебания (9 ч)

Свободные и вынужденные колебания. Колебательный контур. Период свободных электрических колебаний. Переменный электрический ток. Активные, индуктивные и относительные сопротивления. Резонанс в электрической цепи. Автоколебания.

Производство, передача и использование электрической энергии (6 ч)

Генерирование электрической энергии. Трансформаторы. Производство и использование электроэнергии. Передача электроэнергии. Эффективное использование энергии.

Механические волны (7 ч)

Волновые явления. Распространение механических волн. Длина волны. Скорость. Волны в среде. Звуковые волны.

Электромагнитные волны (9 ч)

Что такое электромагнитные волны. Экспериментальное обнаружение электромагнитных волн. Изобретение радио А.С. Поповым. Принцип радиосвязи. Распространение электромагнитных волн. Радиолокация.

Оптика (40 ч)

Световые волны (26 ч)

Скорость света. Закон отражения света. Закон преломления. Полное внутреннее отражение. Линза. Дисперсия. Интерференция. Дифракция. Дифракционная решетка. Поляризация света. Поперечность световых волн.

Элементы теории относительности (6 ч)

Законы электродинамики и принцип относительности. Постулаты теории относительности. Относительность одновременности. Основные свойства, вытекающие из постулатов теории относительности. Зависимость массы от скорости. Динамика. Связь между массой и энергией.

Излучение и спектры (8 ч)

Виды излучений. Источники света. Спектры и спектральные аппараты. Виды спектров. Спектральный анализ. Инфракрасное и ультрафиолетовое излучение. Рентгеновское излучение. Шкала электромагнитных волн.

Квантовая физика (35 ч)

Световые кванты (11 ч)

Фотоэффект. Теория фотоэффекта. Фотоны. Давление света. Химическое действие света.

Атомная физика (4 ч)

Строение атома. Опыты Резерфорда. Квантовые постулаты Бора. Модель атома водорода по Бору. Трудности теории Бора. Квантовая механика. Лазеры.

Физика атомного ядра (17 ч)

Методы наблюдения и регистрации элементарных частиц. Открытие радиоактивности. Альфа-, бета- и гамма-излучения. Радиоактивное превращение. Закон радиоактивного распада. Изотопы. Открытие нейтрона. Строение атомного ядра. Энергия связи. Ядерная реакция. Деление ядер урана. Цепная ядерная реакция. Ядерный реактор. Термоядерная реакция. Биологическое действие радиоактивных излучений.

Элементарные частицы (3 ч)

Три этапа в развитии физики элементарных частиц. Открытие позитрона. Античастицы.

Значение физики для объяснения мира и развития производительных сил общества (1 ч)

Единая физическая картина мира.

Резервный урок (1 ч)

ПОУРОЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ
к учебнику
Г.Я. Мякишева, Б.Б Буховцева

Основы электродинамики

Глава 1. Магнитное поле

Урок 1. Взаимодействие токов. Магнитное поле

Цели: дать учащимся представление о магнитном поле.

Демонстрация: демонстрация опыта Эрстеда, движения проводника с током в магнитном поле; демонстрация силовых линий магнитного поля постоянного магнита, магнитного поля прямого тока.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Изучение нового материала

История магнита насчитывает свыше двух с половиной тысяч лет. В VI в. до н.э. древнекитайские ученые обнаружили минерал, способный притягивать к себе железные предметы. В древние времена свойства магнита пытались объяснить, приписывая ему «живую душу». Теперь мы знаем: вокруг любого магнита существует магнитное поле.

В 1820 г. Г.-Х. Эрстед обнаружил, что магнитное поле порождается электрическим током.

(Проводится демонстрация опыта Эрстеда.)

В 1820 г. Ампер предложил, что «магнитные свойства постоянных магнитов обусловлены множеством круговых токов, циркулирующих внутри молекул этих тел».

Свойства магнитного поля

1. Магнитное поле порождается только движущимися зарядами, в частности электрическим током.

2. В отличие от электрического поля магнитное поле обнаруживается по его действию на движущиеся заряды (заряженные тела).

3. Магнитное поле материально, так как оно действует на тела и, следовательно, обладает энергией.

4. Магнитное поле обнаруживается по действию на магнитную стрелку.

Опыт Ампера

Пропускаем ток по параллельным проводникам. Гибкие проводники укрепляем вертикально, затем присоединяем их с источниками тока. Ничего не наблюдаем. Но если замкнуть концы проводников проволокой, в проводниках возникнут токи противоположного направления. Проводники начнут отталкиваться друг от друга.

В случае токов одного направления проводники притягиваются. Это взаимодействие между проводниками с током, то есть взаимодействие между движущимися электрическими зарядами, называют ***магнитным***. Силы, с которыми проводники с током действуют друг на друга, называют магнитными силами.

Уильям Дисельберт выпустил в 1600 г. книгу под названием «Новая физиология в магнитах, магнитных силах и великом магните Земли». С этой книги, собственно, и начинается подлинное научное изучение электрических и магнитных явлений. Дисельберт описал в своей книге все свойства магнитов, которые в его эпоху были известны, а также изложил результаты собственных очень важных опытов. Он указал на ряд существенных различий между электрическим и магнитным притяжениями и ввел само слово «электричество».

Хотя после Дюсельберта различие между электрическими и магнитными явлениями было уже всем неоспоримо ясно, тем не менее, ряд фактов указывает на то, что при всем своем различии эти явления каким-то образом тесно и неразрывно связаны друг с другом. Наиболее бросаются в глаза факты намагничивания железных предметов и перемагничивания магнитных стрелок под влиянием молний.

Знаменитый французский физик Д. Араго (1786–1853) в своей работе «Гром и молния» описывает интересный случай: «В июне 1681 г. корабль «Королева», находившийся в сотне миль от берега в открытом море, был поражен молнией, которая причинила значительные повреждения в мачтах, парусах. Когда наступила ночь, то по положению звезд выяснилось, что из трех компасов, имевшихся на корабле, два показывали на юг, а третий – на запад».

Араго описывает также случай, когда молния, ударившаяся в дом, сильно намагнитила в нем стальные ножи, вилки и другие предметы.

В начале XVIII в. было установлено, что молния представляет собой электрический ток, идущий через воздух. Поэтому факты могли подсказать, что всякий электрический ток обладает какими-то магнитными свойствами. Однако обнаружить это удалось только в 1820 г. Эрстеду.

Первые успехи в исследовании магнитных явлений в Средние века

В Средние века изучение магнитных явлений приобретает практическое значение. Это происходит в связи с изобретением компаса.

Уже в XII в. в Европе стал известен компас как прибор, с помощью которого можно определить направление частей света. О компасе европейцы узнали от арабов, которым было уже к этому времени известно свойство магнитной стрелки. Еще раньше, вероятно, такое свойство знали в Китае.

Начиная с XII в. компас все шире применялся в морских путешествиях для определения курса корабля в открытом море.

Практическое применение магнитных явлений приводило к необходимости их изучения. Постепенно выяснялся целый ряд свойств магнитов.

В 1600 г. вышла книга английского ученого У. Гильберта «О магните, магнитных телах и большом магните – Земле». В ней автор описал уже известные свойства магнита, а также собственные открытия.

Еще раньше узнали, что магнит всегда имеет два полюса. Они были названы по имени частей света – северный полюс и южный полюс. В числе свойств магнита Гильберт указывал на то, что одинаковые полюсы отталкиваются, а разноименные притягиваются.

Гильберт предполагал, что Земля представляет собой большой магнит. Чтобы подтвердить это предположение, Гильберт проделал специальный опыт. Он выточил из естественного магнита большой шар. Приближая к поверхности шара магнитную стрелку, он показал, что она всегда устанавливается в определенном положении, так же как стрелка компаса на Земле.

Гильберт описал явление магнитной индукции, способы намагничивания железа и стали и т. д. Книга Гильберта явилась первым научным исследованием магнитных явлений.

III. Закрепление материала

– Какие взаимодействия называют магнитными?

– Перечислите основные свойства магнитного поля.

– Опишите опыт Эрстеда.

– Что доказывает опыт Эрстеда?

IV. Подведение итогов урока

Домашнее задание

§ 1 учебника.

Урок 2. Магнитное поле и его характеристики

Цель: сформировать представления учащихся о магнитном поле и его свойствах.

Оборудование: источник питания, ключ, переменный резистор, амперметр, катушка на подставке, компас, соединительные провода.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Актуализация знаний

- Что называют магнитным полем?
- Как взаимодействуют между собой параллельные токи? Чем вызвано это взаимодействие?
- Перечислите правила, определяющие направления магнитного поля. Как использовать это правило?

III. Изучение нового материала

1. Проведение эксперимента.

Эксперимент № 1

Расположим перед катушкой компас. Замкнем цепь и будем наблюдать за поведением компаса.

Какой вывод можно сделать?

Вокруг проводника с током существует магнитное поле (магнитное поле действует на стрелку компаса, отклоняя ее).

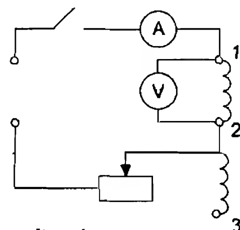


Рис. 1

Эксперимент № 2

Расположим перед катушкой компас так, чтобы расстояние между ними было около 12 см. Замкнем электрическую цепь. В данном случае отклонения стрелки не наблюдается. При приближении катушки к компасу на расстояние 8 см, наблюдается отклонение стрелки (оно может быть около 30°). Уменьшая расстояние, видим увеличение угла отклонения стрелки. Чем дальше от проводника с током, тем слабее магнитное поле.

2. Рассказ учителя.

Магнитное поле можно изобразить графически при помощи линий, касательные к которым в каждой точке совпадают с направлением вектора магнитной индукции.

Линии магнитной индукции не пересекаются. При изображении магнитного поля с помощью линий магнитной индукции эти линии

наносятся так, чтобы их густота в любом месте поля была пропорциональна значению модуля магнитной индукции.

Характерной особенностью линий магнитной индукции является их замкнутость.

Магнитное поле является вихревым.

Открытие электромагнетизма

В XVIII в. электричество и магнетизм считались хотя и похожими, но все же имеющими различную природу явлениями. Правда, были известны некоторые факты, указывающие на существование как будто бы связи между магнетизмом и электричеством, например, намагничивание железных предметов в результате ударов молнии. Больше того, Франклину удалось, как будто бы намагнитить кусок железа с помощью разряда лейденской банки. Но все-таки известные факты не позволяли уверенно утверждать, что между электрическими и магнитными явлениями существует связь.

Такую связь впервые обнаружил датский физик Ганс Кристиан Эрстед (1777–1851) в 1820 г. Он открыл действие электрического тока на магнитную стрелку.

Интересна история этого открытия. Идею о связи между электрическими и магнитными явлениями Эрстед высказал еще в первом десятилетии XIX в. Он полагал, что в явлениях природы, несмотря на все их многообразие, имеется единство, что все они связаны между собой. Руководствуясь этой идеей, он поставил перед собой задачу выяснить на опыте, в чем эта связь проявляется.

Эрстед открыл, что если над проводником, направленным вдоль земного меридиана, поместить магнитную стрелку, которая показывает на север, и по проводнику пропустить электрический ток, то стрелка отклоняется на некоторый угол.

После того как Эрстед опубликовал свое открытие, многие физики занялись исследованием этого нового явления. Французские ученые Ж. Био и Ф. Савар постарались установить закон действия тока на магнитную стрелку, то есть определить, как и от чего зависит сила, действующая на магнитную стрелку, когда она помещена около электрического тока. Они установили, что сила, действующая на магнитный полюс (на конец длинного магнита) со стороны прямолинейного проводника с током, направлена перпендикулярно к кратчайшему расстоянию от полюса до проводника и модуль ее обратно пропорционален этому расстоянию.

Познакомившись с работой Био и Савара, П.-С. Лаплас заметил, что для расчета «магнитной» силы, то есть, говоря современным языком, напряженности магнитного поля, полезно рассматривать действие очень малых отрезков проводника с током на магнитный

полюс. Новый важнейший шаг в исследовании электромагнетизма был сделан французским ученым Андре Мари Ампером (1775–1836) в 1820 г.

Раздумывая над открытием Эрстеда, Ампер пришел к совершенно новым идеям. Он предположил, что магнитные явления вызываются взаимодействием электрических токов. Каждый магнит представляет собой систему замкнутых электрических токов, плоскости которых перпендикулярны оси магнита. Взаимодействие магнитов, их притяжение и отталкивание объясняются притяжением и отталкиванием, существующими между токами. Земной магнетизм также обусловлен электрическими токами, которые протекают в земном шаре.

Эта гипотеза требовала, конечно, опытного подтверждения. И Ампер проделал целую серию опытов для ее обоснования.

Первые опыты Ампера заключались в обнаружении сил, действующих между проводниками, по которым течет электрический ток. Опыты показали, что два прямолинейных проводника с током, расположенные параллельно друг другу, притягиваются, если токи в них имеют одинаковое направление, и отталкиваются, если направление токов противоположно.

Ампер показал также, что виток с током и спиралевидный проводник с током (соленоид) ведут себя как магниты. Два таких проводника притягиваются и отталкиваются подобно двум магнитным стрелкам.

Свои первые сообщения о результатах опытов Ампер сделал на заседаниях Парижской академии наук осенью 1820 г. После этого он занялся разработкой теории взаимодействия проводников, по которым течет электрический ток.

Ампер решил в основу теории взаимодействия токов положить закон взаимодействия между элементами токов. Нужно отметить, что Ампер говорил уже не просто о взаимодействии элементов проводников, как Био и Савар, а о взаимодействии элементов токов, так как к тому времени уже возникло понятие силы тока. И это понятие ввел сам Ампер.

Следуя взглядам того времени о подобии элементарных сил силам тяготения, Ампер предположил, что сила взаимодействии между элементами двух токов будет зависеть от расстояния между ними и должна быть направлена по прямой, соединяющей эти два элемента.

Проведя большое число опытов по определению взаимодействия токов в проводниках различной формы и по-разному расположенных относительно друг друга, Ампер, в конце концов, определил искомую силу. Подобно силе тяготения она оказалась обратно пропорциональной квадрату расстояния между элементами электрических токов. Но в отличие от силы тяготения ее значение зависело еще и от относительной ориентации элементов токов.

Ампер проводил опыты с замкнутыми постоянными токами, он получал при расчетах по своей формуле правильные результаты. Оказывается, что для замкнутых проводников формула Ампера приводит к тем же результатам, что и исправленная впоследствии формула, выражающая силу взаимодействия между элементами токов, которая по-прежнему носит название закона Ампера.

IV. Закрепление материала

- В чем состоит правило правого винта?
- Какую форму имеют линии магнитной индукции прямого тока?
- От чего зависит магнитная индукция поля внутри вытянутой катушки?
- В чем заключается принцип суперпозиции?

V. Подведение итогов урока

Домашнее задание

§ 2 учебника.

Изготовить электромагнит и испытать его.

Ответить на вопросы:

- От каких параметров зависит магнитное поле электромагнита?
- Определить полюса вашего электромагнита.
- В чем отличие и в чем сходство электромагнита и постоянного магнита?

Урок 3. Закон Ампера и его применение

Цель: сформулировать закон Ампера и показать его практическую применимость.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Актуализация знаний

- Опишите опыт Эрстеда.
- Каким является магнитное поле?
- Что можно сказать об основных линиях магнитного поля?
- Что такое соленоид?
- Сформулируйте правила для определения направлений силовых линий магнитного поля?
- Что можно сказать о магнитных монополях?

III. Выполнение лабораторной работы

Лабораторная работа по теме «Изучение свойств постоянных магнитов»

Цели: получить картины силовых линий магнитного поля вокруг постоянных магнитов.

Оборудование: магнит полюсовой (2 шт.), магнит подковообразный, магнитная стрелка, скрепки, медный провод, ластик, железные опилки.

Ход работы

1. Найдите северный полюс стрелки, установите полюса полюсового магнита и подковообразного. Обозначьте северный и южный полюса магнитов.

2. Положите лист картона на полюсовой магнит и равномерно посыпьте его железными опилками. Не двигая магнит и картонку, осторожно постучите по картонке, чтобы опилки могли перемещаться. Обратите внимание, как выстроились опилки на листе. Сделайте рисунок в тетради.

3. Получите картину магнитного поля двух полюсовых магнитов, расположенных параллельно друг другу, и подковообразного магнита.

4. Что можно сказать о линиях магнитной индукции?

IV. Изучение нового материала

1. Проведение эксперимента.

По двум параллельным проводникам пропускаем электрический ток. В том случае, если ток направлен в одну сторону, наблюдается притяжение проводников, если в разные стороны, то отталкивание.

Притяжение или отталкивание электрически нейтральных проводников при пропускании через них электрического тока называют магнитным взаимодействием токов.

На проводник с током в магнитном поле действует сила, которая получила название силы Ампера. Направление этой силы можно найти при помощи правила левой руки. Математическая запись имеет следующий вид:

$$F_A = IBl \sin\alpha,$$

где I – сила тока в проводнике; B – магнитная индукция; l – длина проводника; α – угол между направлением проводника и направлением вектора магнитной индукции.

2. Работа с учебником.

Учащиеся открывают с. 900 учебника, читают § 64 и отвечают на следующие вопросы:

- Как устроен измерительный прибор магнитоэлектрической системы?

– Каково устройство электродвигателя постоянного тока?
– От чего зависит вращающийся магнит электродвигателя постоянного тока?
– Как можно изменить направление вращения якоря электродвигателя?
– Как можно изменить скорость вращения якоря электродвигателя?

V. Решение задач

1. Какая сила действует на каждый метр длины воздушных проводов троллейбусной линии, расположенных на расстоянии 52 м друг от друга, если сила тока в проводах – 2000 А? (*Ответ:* 1,5 Н.)

2. Вычислите индукцию магнитного поля на расстоянии 10 м от длинного прямого проводника при силе тока в проводнике 20 А. (*Ответ:* $4 \cdot 10^{-5}$ Тл.)

3. Вычислите индукцию магнитного поля внутри цилиндрической катушки длиной 10 м, содержащей 200 витков провода, при силе тока в катушке 5 А. (*Ответ:* $1{,}3 \cdot 10^{-2}$ Тл.)

Задачи повышенной сложности:

1. В вертикально однородном магнитном поле на двух тонких лентах горизонтально подвешен проводник длиной 20 см и массой 20,4 г. Индукция магнитного поля равна 0,5 Тл. На какой угол от вертикали отклонятся ленты, если сила тока в проводнике равна 2 А. (*Ответ:* 45°.)

2. Прямолинейный проводник массой 2 кг и длиной 50 см помещен в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции. Индукция поля равна 15 Тл. Какой силы ток должен проходить по нему, чтобы он висел не падая? (*Ответ:* 2,7·Тл.)

3. Проводящий стержень лежит на горизонтальной поверхности перпендикулярно однородному горизонтальному магнитному полю с индукцией 0,2 Тл. Какую силу в горизонтальном направлении нужно приложить перпендикулярному проводнику для его равномерного поступательного движения? Сила тока в проводнике – 10 А, масса – 100 г, длина – 25 см, коэффициент трения – 0,1. (*Ответ:* 0,548 Н или 0,402 Н.)

VI. Подведение итогов урока

Дополнительный материал

Андре-Мари Ампер

Андре-Мари Ампер родился 20 января 1775 г. в Лионе в семье образованного коммерсанта. Отец его вскоре переселился с семьей в имение Полемье, расположенное в окрестностях Лиона, и лично руководил воспитанием сына. Уже к 14 годам Ампер прочитал все 20 томов знаменитой «Энциклопедии» Дидро и д'Аламбера. Проявляя с детства большую склонность к

математическим наукам, Ампер к 18 годам в совершенстве изучил основные труды Эйлера, Бернулли и Лагранжа. К тому времени он хорошо владел латынью, греческим и итальянским языками. Иными словами, Ампер получил глубокое и энциклопедическое образование.

В 1793 г. в Лионе вспыхнул контрреволюционный мятеж. Отец Ампера – жирондист, исполнявший обязанности судьи при мятежниках, после подавления мятежа был казнён как сообщник аристократов. Имущество его было конфисковано. Юный Ампер начал свою трудовую деятельность с частных уроков. В 1801 г. он занял должность преподавателя физики и химии центральной школы в городе Бурге. Здесь он написал первый научный труд, посвященный теории вероятности «Опыт математической теории игры». Эта работа привлекла внимание д'Аламбера и Лапласа. И Ампер стал преподавать математику и астрономию в Лионском лицее. В 1805 г. Ампер был назначен репетитором по математике в знаменитой Политехнической школе в Париже и с 1809 г. заведовал кафедрой высшей математики и механики. В этот период Ампер публикует ряд математических трудов по теории рядов. В 1813 г. его избирают членом Института (т. е. Парижской Академии наук) на место скончавшегося Лагранжа. Вскоре после избрания Ампер представил в Академию свое исследование о преломлении света. К этому же времени относится его знаменитое «Письмо к г. Бертолле», в котором Ампер сформулировал открытый им независимо от Авогадро химический закон, именуемый ныне законом Авогадро-Ампера.

В 1816 г. Ампер опубликовал свою классификацию химических элементов, первую в истории химии серьезную попытку расположить химические элементы по их сходству между собой.

Открытие Эрстедом в 1820 г. действия электрнческого тока на магнитную стрелку привлекает внимание Ампера к явлениям электромагнетизма. Ампер ставит многочисленные опыты, изобретает для этой цели сложные приборы, которые изготавливает за свой счет, что сильно подрывает его материальное положение.

С 1820 по 1826 г. Ампер опубликовал ряд теоретических и экспериментальных трудов по электродинамике и почти еженедельно выступал с докладами к Академии наук.

В 1822 г. он выпустил «Сборник наблюдений по электромагнетизму», в 1823 г. – «Конспект теории электродинамических явлений» и, наконец, в 1826 г. – знаменитую «Теорию электродинамических явлений, выведенных исключительно из опыта». Ампер получает всемирную известность как выдающийся физик.

Урок 4. Решение задач. Сила Ампера

Цель: отработка практических навыков при решении задач.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение материала

- Что устанавливает закон Ампера?
- Чему равен модуль силы Ампера?
- Сформулируйте правило, позволяющее определить направление силы Ампера.
- Приведите примеры использования силы Ампера.

III. Решение задач

1. В однородное магнитное поле внесены проводники с силами тока, направления которых указаны на рис. 2. Определите направления силы, действующей на каждый проводник со стороны магнитного поля.

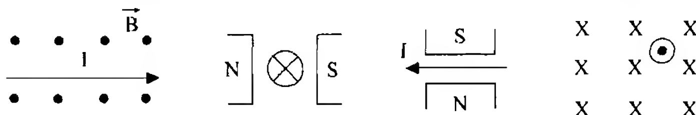


Рис. 2

2. Определить направление тока в проводнике, находящемся в магнитном поле, если действующая на проводник сила имеет направление:

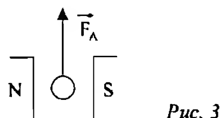


Рис. 3

3. Прямой проводник *ab* длиной l = 0,5 м, массой m = 0,5 г подвешен горизонтально на двух невесомых нитях *oa* и *ob* в однородном магнитном поле (см. рис. 4). B = 24,5 мТл и перпендикулярно к проводнику. Какой ток надо пропустить через проводник, чтобы одна из нитей разорвалась, если нить разрывается при нагрузке, равной силе, превышающей Mg – 39,2 мН.

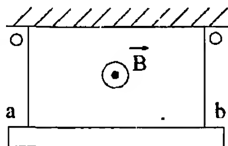


Рис. 4

Дано:
l = 0,5 м,
m = 0,5 г,
B = 24,5 мТл,
Mg – 39,2 мН

I = ?

Решение:

$\vec{R} = m\vec{a}$;

$2T - mg - F_A = 0 \Rightarrow$

$T = \frac{1}{2}\left(mg\ tF_A\right)$;

$T = \frac{1}{2}\left(mg + F_A\right) \geq Mg \Rightarrow$

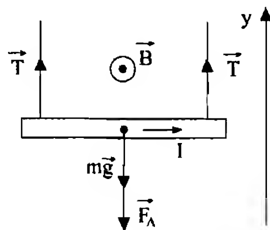


Рис. 5

$I \geq \frac{2(M-m)g}{Bl} = 3,75$ А.

(*Ответ:* I = 3,75 А.)

4. Проводник с током $I = 1$ А, массой $m = 20$ г и длиной $l = 20$ м подвешен на двух тонких проволоках и помещен в однородное магнитное поле с вектором $\vec{B}$, направленным вертикально (см. рис. 6). Величина индукции тока $B = 0,5$ Тл. На какой угол от вертикали отклонится проволока, поддерживающая проводник?

Дано:
$I = 1$ А,
$m = 20$ г,
$B = 0,5$ Тл

$I = ?$

Решение:
$\vec{R} = m\vec{a}$;
Составим систему
$x \quad F - 2T\sin\alpha = 0$
$y \quad 2T\cos\alpha - mg = 0$;
$2T\sin\alpha = BIl$
$2T\cos\alpha = mg$ $\Rightarrow$

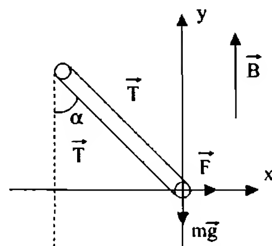


Рис. 6

$$\text{tg}\alpha = \frac{BIl}{mg} \approx 0,5;\ \alpha = 26,5^\circ.$$

(*Ответ:* $\alpha = 26,5^\circ$.)

5. Рамка площадью $S = 25$ см^2, содержащая $N = 100$ витков провода, помещена в однородное магнитное поле так, что индукция $\vec{B}$ параллельна плоскости рамки. При величине тока в каждом витке $I = 1$ А на рамку со стороны магнитного поля действует момент силы $M = 5\cdot10^{-3}$ Н·м. Определить величину B вектора индукции магнитного поля ($2\cdot10^{-2}$ Тл).

6. Прямолинейный проводник с током помещен в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,2$ Тл. Найдите величину силы, действующую на проводник, если его длина $l = 10$ см, величина тока $I = 3$ А, а направление тока составляет с направлением вектора индукции магнитного поля угол $\alpha = 45^\circ$ ($4,2\cdot10^{-2}$ Н).

7. Жесткая проводящая квадратная рамка лежит на горизонтальной непроводящей поверхности и находится в магнитном поле, линии индукции которого параллельны двум сторонам рамки. Масса рамки $m = 20$ г, длина ее стороны $a = 4$ см, величина магнитной индукции $B = 0,5$ Тл. Какой величины ток следует пропустить по рамке, чтобы одна из ее сторон начала подниматься ($I = 5$ А)?

IV. Подведение итогов урока

Домашнее задание

Упражнение № 1 (1:2).
Р – 829; Р – 830.

Урок 5. Лабораторная работа по теме «Оценка модуля вектора магнитной индукции подковообразного магнита»

Цель: использование силы Ампера для определения вектора магнитной индукции однородного поля.

Оборудование: подковообразный магнит, катушка с известным числом витков, весы с разновесами, нить, амперметр, реостат, ключ, источник тока, линейка, штатив с лапкой.

Ход работы

1. Определите массу катушки с витками.
2. Закрепите катушку на двух нитях в лапке штатива так, чтобы катушка на 2 см углубилась в пространство между полюсами наконечниками подковообразного магнита и могла свободно колебаться, не вращаясь вокруг своей оси.
3. Соберите цепь, позволяющую пропускать ток по катушке, регулировать его и измерять силу тока.
4. Реостатом отрегулируйте силу тока так, чтобы катушка отклонялась от вертикали на 1–2 см, не выходя из зазора магнита.
5. При этом измерьте силу тока, отклонение X, длину нити L.

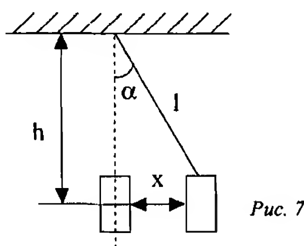


Рис. 7

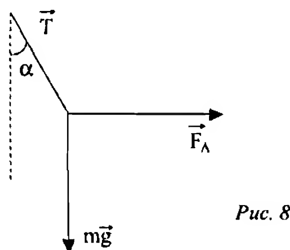


Рис. 8

6. $F_A = Mgtg\alpha \approx \frac{MgX}{h} \approx \frac{MgX}{L}$; $F_A = IlBN$; $B = \frac{MgX}{LIlN}$.

7. Сделайте вывод.

Домашнее задание

п. 2–5.

Урок 6. Сила Лоренца

Цели: установить силы, влияющие на подвижное заряженное тело в электромагнитном поле.

Оборудование: старый телевизор, генератор полос, электромагнит.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Актуализация знаний

1. Фронтальный опрос.
   - Что такое электромагнитное поле?
   - Какие величины определяют состояние электромагнитного поля?
   - Какая сила называется электрической?
   - Какая сила называется магнитной?
   - Что такое пробный заряд?
   - Как определяется электрическая напряженность?
   - Что называется магнитной индукцией?
   - Как описывается взаимодействие заряженных частиц на языке теории поля?
2. Решение экспериментальной задачи.
   - Как, имея в распоряжении заряженный электрометр с полым шаром и пробный шарик на изолирующей ручке, получить на другом электрометре с полым шаром заряд, превышающий заряд по модулю первого электрометра? (*Предполагаемое решение*: Пробный шарик подносят к кондуктору заряженного электрометра на расстояние, равное 2 см, и касаются шарика рукой. При этом он приобретает электрический заряд, противоположный по знаку заряда электрометра. При повторных операциях на нем накапливается заряд.)

III. Изучение нового материала

Проанализировав свойства электромагнитного поля и установив связь силовых характеристик этого поля друг с другом, а также с зарядами и токами, Максвелл написал систему уравнений, составивших основу для теории.

В 1892 г. Лоренц получил формулу силы, с которой электромагнитное поле действует на любое находящееся в нем заряженное тело.

$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{\upsilon} \cdot \vec{B}$ – электромагнитная сила Лоренца.

Здесь включены два слагаемых:

первое – электрическая сила $\vec{F} = q\vec{E}$;

вторoе – магнитная сила (или просто сила Лоренца) $\vec{F} = q\vec{\upsilon} \cdot \vec{B}$.

$$\vec{F} = |q| \upsilon B \sin\alpha .$$

Направлена магнитная сила Лоренца всегда перпендикулярно векторам $\vec{\upsilon}$ и $\vec{B}$ в ту сторону, куда перемещался бы буравчик в случае поворота его рукоятки от $\vec{\upsilon}$ до $\vec{B}$. Или определяется правилом левой руки.

Так как магнитная сила Лоренца всегда перпендикулярна скорости движения, то она работу не совершает ($A = 0$).

Частица, влетая в однородное постоянное магнитное поле:

$$m\vec{a} = q\vec{\upsilon} \cdot \vec{B};$$

$$ma = |q|\upsilon B \sin\upsilon .$$

1. Если $\vec{\upsilon} \parallel \vec{B}$, то $\alpha = 0°$, $\sin\alpha = 0$, $F_m = 0$. Сила Лоренца не действует, частица продолжает свое движение.

2. $\alpha = 90°$, $\vec{\upsilon} \perp \vec{B}$,

$$ma = |q|\upsilon B; \quad a = \frac{\upsilon^2}{R}; \quad m = \frac{\upsilon^2}{R} = |\ |\upsilon \cdot B \quad \Rightarrow \quad R = \frac{m\upsilon}{|q|B},$$

и ее период $T = \frac{2\pi R}{\upsilon} = \frac{2\pi m}{|q|B}$, частица движется по окружности.

3. Частица влетает в магнитное поле под острым или тупым углом к вектору $\vec{B}$.

Учащиеся открывают учебник на с. 169 и разбираются самостоятельно (работа с учебником).

Демонстрация силы Лоренца

При движении электромагнита в зоне экрана наблюдается искривление полос.

IV. Закрепление материала

– Какую силу называют силой Лоренца?
– Напишите формулу для определения силы, с которой магнитное поле действует на движение в теле заряда.
– Как движется заряженная частица в однородном магнитном поле в случае, когда направление скорости перпендикулярно магнитной индукции?
– Почему сила Лоренца не меняет модуля скорости заряженной частицы?
– По какой формуле определяется период обращения заряженной частицы по окружности в однородном магнитном поле?

V. Решение задач

1. В однородном магнитном поле, индукция которого равна 2 Тл, движется электрон со скоростью 10^5 м/с перпендикулярно линиям магнитной индукции. Вычислите силу, действующую на электрон. (*Ответ*: $F_л = 3{,}2 \cdot 10^{-14}$ Н).

2. Электрон движется в вакууме в однородном магнитном поле с индукцией $5 \cdot 10^{-3}$ Тл. Радиус окружности, по которой он движется, равен

1 см. Определите модуль скорости движения электрона, если она направлена перпендикулярно к линиям индукции. (*Ответ*: $\upsilon = 9 \cdot 10^2$ м/с).

VI. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 6.

Р – 839; Р – 840.

Урок 7. Применение силы Лоренца

Цель: показать практическую значимость силы Лоренца.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение изученного

- Какую силу называют силой Лоренца?
- Чему равна сила Лоренца?
- Что такое электрическое поле?
- Какое поле называют однородным?
- В каком случае электрическое поле разгоняет заряженную частицу, а в каком тормозит?
- Что такое магнитное поле?
- Как определить направление магнитной силы Лоренца?
- Как движется частица в магнитном поле в разных случаях?

III. Выполнение лабораторной работы

Лабораторная работа

Цели: ознакомление с устройством электронно-лучевой трубки осциллографа, использование знаний о силе Лоренца для определения скорости движения заряда.

Оборудование: подковообразный магнит с рассчитанным модулем *B* магнитной индукции, линейка, осциллограф (электронно-лучевая трубка).

Ход работы

1. Установите след электронного луча (светящуюся точку) в центре экрана, вращая ручки вертикального и горизонтального смещения луча осциллографа. Осторожно прижмите подкову магнита к экрану и измерьте линейкой смещение луча по *Y*.

2. Зарисуйте положение магнита относительно экрана, начальное и конечное положение луча на экране. Укажите направление линий

магнитной индукции между полюсами магнита. Определите направление движения электронов.

3. Радиус кривизны найдите по формуле:

$$R = \frac{Y^2 + d^2}{2y},$$

где R – радиус кривизны; d – толщина слоя, где действует магнитное поле; y – смещение.

$$\upsilon = \frac{qB\left(y^2 + d^2\right)}{2gm},$$

где q и m – табличные данные.

4. Если известно напряжение между ускоряющими электродами осциллографа, то можно провести оценку:

$$\frac{m\upsilon^2}{2} = qU .$$

IV. Изучение нового материала

Рассмотрим некоторые из многочисленных применений силы Лоренца, которые встречаются в науке и технике.

1. Управление электронным пучком.

Как видно из лабораторной работы, с помощью магнитных полей можно изменить направление движения электронов. Впервые управлять электронными лучами научился Дж.-Дж. Томсон.

2. Определение скорости движения частиц.

3. Действие магнитного поля на движущиеся заряженные частицы используется для преобразования кинетической энергии плазменной струи в электрическую (МГД-генераторы) (магнитогидродинамики).

Поток плазмы направляется в поперечное магнитное поле, которое действует на движущиеся заряженные частицы $F_л = B \cdot q \cdot \upsilon$, направленное перпендикулярно к скорости их движения. В результате положительные ионы отклоняются вверх, а электроны и отрицательные ионы – вниз.

Верхний катод электризуется положительно, а нижний – отрицательно, их выводы являются полюсами генератора. Между электродами ток течет снизу вверх. Происходит уменьшение скорости струи и ее кинетической энергии. На МГД-генераторе кинетическая энергия плазменной струи преобразовывается непосредственно в электрическую энергию.

Совместное использование на тепловых электростанциях гидродинамического метода преобразования энергии и обычных паротурбинных установок позволяет значительно повысить экономическую эффективность электростанций.

4. Определение знака заряда движущейся частицы.
5. Магнитные ловушки.
6. Определение удельного заряда и массы частиц.
7. Ускорители заряженных частиц.
8. Электронный микроскоп.

V. Закрепление изученного материала

- Каким методом можно определить скорость заряженных частиц?
- Как с помощью магнитного поля можно узнать заряжена ли частица?
- Опишите принцип действия циклотрона.

VI. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 6; упр. № 1 (3 : 4).

Дополнительный материал

Полярные сияния

Одним из красивейших оптических явлений природы является полярное сияние.

В большинстве случаев полярные сияния имеют зеленый или сине-зеленый оттенок с изредка появляющимися пятнами или каймой розового или красного цвета.

Полярные сияния наблюдают в двух основных формах – в виде лент и в виде облакоподобных пятен. Когда сияние интенсивно, оно приобретает форму лент. Теряя интенсивность, оно превращается в пятна. Однако многие ленты исчезают, не успев разбиться на пятна. Ленты как бы висят в темном пространстве неба, напоминая гигантский занавес или драпировку, тянущуюся обычно с востока на запад на тысячи километров. Высота этого занавеса составляет несколько сотен километров, толщина не превышает нескольких сотен метров, причем он так нежен и прозрачен, что сквозь него видны звезды. Нижний край занавеса довольно резко и отчетливо очерчен и часто подкрашен в красный или розоватый цвет, напоминающий кайму занавеса, верхний – постепенно теряется в высоте и это создает особенно эффектное впечатление глубины пространства.

Различают четыре типа полярных сияний:

- Однородная дуга – светящаяся полоса имеет наиболее простую, спокойную форму. Она более яркая снизу и постепенно исчезает кверху на фоне свечения неба.
- Лучистая дуга – лента становится несколько более активной и подвижной, она образует мелкие складки и струйки.
- Лучистая полоса – с ростом активности более крупные складки накладываются на мелкие.

При повышении активности складки или петли расширяются до огромных размеров, нижний край ленты ярко сияет розовым свечением. Когда

активность спадает, складки исчезают и лента возвращается к однородной форме. Это наводит на мысль, что однородная структура является основной формой полярного сияния, а складки связаны с возрастанием активности.

Часто возникают сияния иного вида. Они захватывают весь полярный район и оказываются очень интенсивными. Происходят они во время увеличения солнечной активности. Эти сияния представляются в виде беловато-зеленой шапки. Такие сияния называют шквалами.

По яркости сияния разделяют на четыре класса, отличающиеся друг от друга на один порядок (то есть в 10 раз). К первому классу относятся сияния еле заметные и приблизительно равные по яркости Млечному Пути, сияния же четвертого класса освещают Землю так ярко, как полная Луна.

Надо отметить, что возникшее сияние распространяется на запад со скоростью 1 км/с. Верхние слои атмосферы в области вспышек сияний разогреваются и устремляются вверх, что сказалось на усиленном торможении искусственных спутников Земли, проходящих эти зоны.

Во время сияний в атмосфере Земли возникают вихревые электрические токи, захватывающие большие области. Они возбуждают дополнительные неустойчивые магнитные поля, так называемые магнитные бури. Во время сияний атмосфера излучает рентгеновские лучи, которые, по-видимому, являются результатом торможения электронов в атмосфере.

Интенсивные вспышки сияния часто сопровождаются звуками, напоминающими шум, треск. Полярные сияния вызывают сильные изменения в ионосфере, что в свою очередь влияет на условия радиосвязи. В большинстве случаев радиосвязь значительно ухудшается. Возникают сильные помехи, а иногда полная потеря приема.

Как возникают полярные сияния. Земля представляет собой огромный магнит, южный полюс которого находится вблизи северного географического полюса, а северный – вблизи южного. Силовые линии магнитного поля Земли, называемые геомагнитными линиями, выходят из области, прилегающей к северному магнитному полюсу Земли, охватывают земной шар и входят в него в области южного магнитного полюса, образуя тороидальную решетку вокруг Земли.

Долго считалось, что расположение магнитных силовых линий симметрично относительно земной оси. Теперь выяснилось, что так называемый «солнечный ветер» – поток протонов и электронов, излучаемых Солнцем, налетая на геомагнитную оболочку Земли с высоты около 20000 км, оттягивает ее назад, в сторону от Солнца, образуя у Земли своеобразный магнитный «хвост».

Электрон или протон, попавшие в магнитное поле Земли, движутся по спирали, как бы навиваясь на геомагнитную линию. Электроны и протоны, попавшие из солнечного ветра в магнитное поле Земли, разделяются на две части. Часть из них вдоль магнитных силовых линий сразу стекает в полярные области Земли; другие попадают внутрь тероида и движутся внутри него, вдоль замкнутой кривой ABC. Эти протоны и электроны в конце концов по геомагнитным линиям также стекают в область полюсов, где возникает их увеличенная концентрация. Протоны и электроны производят ионизацию и возбуждение атомов и молекул газов. Для этого они имеют доста-

точно энергии, так как протоны прилетают на Землю с энергиями 10000–20000 эВ (1 эВ = 1,6·10 Дж), а электроны с энергиями 10–20 эВ. Для ионизации же атомов нужно: для водорода – 13,56 эВ, для кислорода – 13,56 эВ, для азота – 124,47 эВ, а для возбуждения еще меньше.

Возбужденные атомы газов отдают обратно полученную энергию в виде света, наподобие того, как это происходит в трубках с разреженным газом при пропускании через них токов.

Спектральное исследование показывает, что зеленое и красное свечение принадлежит возбужденным атомам кислорода, инфракрасное и фиолетовое – ионизованным молекулам азота. Некоторые линии излучения кислорода и азота образуются на высоте 110 км, а красное свечение кислорода – на высоте 200–400 км. Другим слабым источником красного света являются атомы водорода, образовавшиеся в верхних слоях атмосферы из протонов, прилетевших с Солнца. Захватив электрон, такой протон превращается в возбужденный атом водорода и излучает красный свет.

Вспышки сияний происходят обычно через день-два после вспышек на Солнце. Это подтверждает связь между этими явлениями. Исследование при помощи ракет показало, что в местах большей интенсивности сияний имеется более значительная ионизация газов электронами.

В последнее время ученые установили, что полярные сияния более интенсивны у берегов океанов и морей.

Но научное объяснение всех явлений, связанных с полярными сияниями, встречает ряд трудностей. Например, неизвестен точно механизм ускорения частиц до указанных энергий, не вполне ясны их траектории в околоземном пространстве, не все сходится количественно в энергетическом балансе ионизации и возбуждения частиц, не вполне ясен механизм образования свечения различных видов, неясно происхождение звуков.

Урок 8. Решение задач. Сила Лоренца

Цель: отработка практических навыков при решении задач.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Актуализация знаний

1. Анализ эксперимента.

– Объясните эксперимент. Алюминиевую линейку протягивают над керамическими магнитами между двумя скошенными концами проводов, подключенных к гальванометру. Гальванометр показывает ток. Почему? (*Вместе с линейкой перемещаются свободные заряды (электроны). На них действует сила Лоренца, смещая их к одной кромке. Тем самым между кромками создается и поддерживается разность потенциалов.*)

2. Повторение.

- Какую силу называют силой Лоренца?
- Как движется заряженная частица в однородном магнитном поле в случае, когда направление скорости перпендикулярно магнитной индукции? Не перпендикулярно?
- Почему сила Лоренца не меняет модуля скорости заряженной частицы?

III. Решение задач

1. Пройдя ускоряющую разность потенциалов $U = 3{,}52$ кВ, электрон вылетает в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0{,}01$ Тл перпендикулярно линиям индукции и движется по окружности радиуса $R = 2$ см. Вычислите отношение величины заряда электрона Q к его массе m. (*Ответ:* $1{,}76 \cdot 10^{11}$ Кл/кг.)

2. Заряженная частица движется в однородном магнитном поле по окружности со скоростью $\upsilon = 10^6$ м/с. Индукция магнитного поля $B = 0{,}312$ Тл. Радиус $R = 4$ см окружности. Найдите заряд q частицы, если кинетическая энергия $U = 2 \cdot 10^{-15}$ Дж. (*Ответ:* $\pm 3{,}2 \cdot 10^{-19}$ Кл.)

3. В некоторой области пространства созданы однородные постоянные поля: магнитное $B = 0{,}3$ Тл и электрическое $E = 300$ кВ/м. Перпендикулярно обоим полям по прямой движется протон. Найдите величину υ скорости движения протона. (*Ответ:* 10^6 м/с.)

4. Векторы $\vec{E}$ и $\vec{B}$ однородных электрического и магнитного полей ориентированы взаимно перпендикулярно. Напряженность электрического поля $E = 1$ кВ/м, а индукция магнитного поля $B = 1$ мТл. Найдите величину и укажите направление скорости $\vec{\upsilon}$ электрона, при котором его движения в этих полях будет прямолинейным. (*Ответ:* 10^6 м/с.)

5. Электрон, влетающий в вакууме в однородное магнитное поле напряженностью $H = 32$ кА/м перпендикулярно к направлению магнитного поля, движется в нем по окружности радиусом $R = 2$ см. Найти разность потенциалов U, которую прошел электрон перед тем, как влететь в магнитное поле. (*Ответ:* $m_э = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ кг, $l = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ км.)

6. Протон влетает в область однородного магнитного поля шириной l, индукция поля равна $\vec{B}$. Скорость протона перпендикулярна B и границе области. Под каким углом к первоначальному направлению движения вылетает протон? (*Ответ:* $\alpha = \arcsin \dfrac{l q_p B}{m_p \upsilon}$.)

7. Электрон, прошедший ускоряющую разность потенциалов $U = 10$ кВ, влетает в вакууме в однородное магнитное поле напряженностью $H = 79{,}6$ кА/м под углом $\alpha = 53°$ к направлению линий маг-

нитного поля. Определить радиус и шаг спирали, по которой электрон будет двигаться в магнитном поле. (*Ответ:* $R = 2,7$ мм, $h = 12,7$ мм.)

IV. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 6;

Р – 841; Р – 842.

Урок 9. Магнитное поле вещества. Магнитное поле Земли

Цель: объяснить существование магнитных свойств вещества.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Актуализация знаний

- Какие вещества называют электролитами?
- Какие частицы являются носителями тока в электролитах?
- Что такое электролитическая диссоциация?
- Что такое электролиз? Где его применяют?
- В чем заключается закон Фарадея для электролиза?

III. Анализ экспериментов

Эксперимент 1

В пробирку с водой до полного исчезновения ее прозрачности добавляют черную тушь. Затем в нее помещают два алюминиевых электрода, расположенных на расстоянии 3–4 мм друг от друга. Подают напряжение 15–20 В на электроды. При пропускании тока частицы туши слипаются и всплывают на поверхность воды. Жидкость в пробирке приобретает прозрачность. (*Пример, применения электрического тока в жидкости для очистки от взвешенных загрязнений.*)

Эксперимент 2

В большой катушке подвесим на тонких проводах вторую небольшую катушку. Подключим катушки к источнику тока. Наблюдается отклонение катушки от вертикального положения. Если в большую катушку внести железный сердечник, то отклонение маленькой катушки существенно изменится.

Вещества, которые значительно усиливают магнитное поле, называют ферромагнетиками.

Физическая величина, показывающая во сколько раз индукция $\vec{B}$ магнитного поля в веществе, полностью заполняющем поле, отлича-

ется по модулю от индукции $\vec{B}_0$ магнитного поля в вакууме, называется магнитной проницаемостью:

$$\mu = \frac{B}{B_0}.$$

У ферромагнетиков значение магнитной проницаемости достигает нескольких сотен и даже тысяч единиц.

Эксперимент 3

Повторим предыдущий эксперимент. Только вместо железного стержня введем в катушку стержни из меди (алюминия, стекла). В этом случае существенных изменений в отклонении маленькой катушки заметить не удастся.

По характеру проводимых изменений внешнего поля неферромагнитные вещества делятся на парамагнетики и диамагнетики.

Парамагнетиками называют вещества, которые слабо намагничиваются в направлении внешнего поля. Магнитная проницаемость их мала (у сметаны – 1,0034).

Ферромагнетиками называют вещества, которые слабо намагничиваются в направлении, противоположном индукции намагничивающего поля, то есть ослабляющими внешнее магнитное поле.

В веществе магнитное поле создается не только токами, которые текут по проводам, но и движениями электронов, которые происходят внутри атомов и молекул самого вещества. Эти движения эквиваленты микроскопическим токам (молекулярные токи).

В отсутствии внешнего поля молекулярные токи ориентированы беспорядочно, и их магнитные поля скомпенсированы. При наложении внешнего поля компенсация нарушается и, как принято говорить, – тело намагничивается.

IV. Закрепление изученного материала

- Какие вещества называют ферромагнетиками?
- Что такое температура Кюри?
- Какими магнитными свойствами обладают диамагнетики и парамагнетики?
- Существует ли остаточная намагниченность у парамагнетиков?

V. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 7;

Р – 843.

Творческое задание: Предложите способ нахождения температуры Кюри. Определите ее и сверьте свой результат с табличными данными.

Дополнительный материал

Характеристика магнитного поля Земли

Земля в целом представляет собой огромный шаровой магнит. Человечество начало использовать магнитное поле Земли давно. Уже в начале XII–XIII вв. получает широкое распространение в мореходстве компас. Однако в те времена считалось, что стрелку компаса ориентирует Полярная звезда и её магнетизм. Предположение о существовании магнитного поля Земли впервые высказал в 1600 г. английский естествоиспытатель Гильберт.

В любой точке пространства, окружающего Землю, и на ее поверхности обнаруживается действие магнитных сил. Иными словами, в пространстве, окружающем Землю, создается магнитное поле, силовые линии которого изображены на рис. 9.

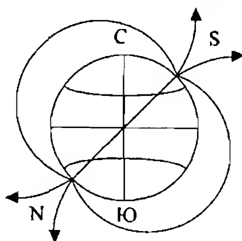


Рис. 9

Магнитные и географические полюса Земли не совпадают друг с другом. Северный магнитный полюс N лежит в южном полушарии, вблизи берегов Антарктиды, а южный магнитный полюс S находится в Северном полушарии, вблизи северного берега острова Виктория (Канада). Оба полюса непрерывно перемещаются (дрейфуют) на земной поверхности со скоростью около 5 км за год из-за переменности порождающих магнитное поле процессов. Кроме того, ось магнитного поля не проходит через центр Земли, а отстает от него на 430 км. Магнитное поле Земли не симметрично. Благодаря тому, что ось магнитного поля проходит всего под углом в 11,5 градусов к оси вращения планеты, мы можем пользоваться компасом.

Основная часть магнитного поля Земли, по современным воззрениям, имеет внутриземное происхождение. Магнитное поле Земли создаётся ее ядром. Внешнее ядро Земли жидкое и металлическое. Металл – проводящее ток вещество, и если бы существовали в жидком ядре постоянные течения, то соответствующий электрический ток создавал бы магнитное поле. Благодаря вращению Земли, такие течения в ядре существуют, так как Земля в некотором приближении является магнитным диполем, то есть своеобразным магнитом с двумя полюсами: южным и северным.

Незначительная часть магнитного поля (около 1 %) имеет внеземное происхождение. Возникновение этой части приписывают электрическим токам, текущим в проводящих слоях ионосферы и поверхности Земли. Эта часть магнитного поля Земли подвержена слабому изменению со временем, которое называется вековой вариацией. Причины существования электрических токов в вековой вариации неизвестны.

В идеальном и гипотетическом предположении, в котором Земля была бы одинока в космическом пространстве, силовые линии магнитного поля планеты располагались таким же образом, как и силовые линии обычного магнита, то есть в виде симметричных дуг, протянувшихся от южного полюса к северному. Плотность линий (напряженность магнитного поля) падала бы с удалением от планеты. На деле, магнитное поле Земли находится во взаимодействии с магнитными полями Солнца, планет и потоков заряженных частиц, ис-

пускаемых в изобилии Солнцем. Если влиянием самого Солнца и тем более планет из-за удаленности можно пренебречь, то с потоками частиц, иначе – солнечным ветром, так не поступишь. Солнечный ветер представляет собой потоки мчащихся со скоростью около 500 км/с частиц, испускаемых солнечной атмосферой. В моменты солнечных вспышек, а также в периоды образования на Солнце группы больших пятен, резко возрастает число свободных электронов, которые бомбардируют атмосферу Земли. Это приводит к возмущению токов текущих в ионосфере Земли и, благодаря этому, происходит изменение магнитного поля Земли. Возникают магнитные бури. Такие потоки порождают сильное магнитное поле, которое и взаимодействует с полем Земли, сильно деформируя его. Благодаря своему магнитному полю, Земля удерживает в так называемых радиационных поясах захваченные частицы солнечного ветра, не позволяя им проходить в атмосферу Земли и тем более к поверхности. Частицы солнечного ветра были бы очень вредны для всего живого. При взаимодействии упоминавшихся полей образуется граница, по одну сторону которой находится возмущенное (подвергшееся изменениям из-за внешних влияний) магнитное поле частиц солнечного ветра, по другую – возмущенное поле Земли. Эту границу стоит рассматривать как предел околоземного пространства, границу магнитосферы и атмосферы. Вне этой границы преобладает влияние внешних магнитных полей. В направлении к Солнцу магнитосфера Земли сплюснута под натиском солнечного ветра и простирается всего до 10 радиусов планеты. В противоположном направлении имеет место вытянутость до 1000 радиусов Земли.

Основная часть магнитного поля Земли обнаруживает аномалии в различных районах земной поверхности. Эти аномалии, по-видимому, следует приписать присутствию в земной коре ферромагнитных масс или различию магнитных свойств горных пород. Поэтому изучение магнитных аномалий имеет практическое значение при исследовании полезных ископаемых.

Существование магнитного поля в любой точке Земли можно установить с помощью магнитной стрелки.

Урок 10. Контрольная работа. Электрический заряд и электромагнитное поле

Цель: проверка знаний и умений учащихся по изученной теме.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Проведение контрольной работы

I вариант

1. Заряженная частица массой $2 \cdot 10^{-9}$ г находится в равновесии в однородном электрическом поле напряженностью $4 \cdot 10^{5}$ Н/Кл. Чему равен заряд частицы? (*Ответ:* $5 \cdot 10^{-17}$ Кл.)

2. Электрон со скоростью $5\cdot10^7$ м/с влетает в однородное магнитное поле поду углом 30° к линиям магнитной индукции. Найдите силу, действующую на электрон, если индукция магнитного поля 0,8 Тл. (*Ответ:* $3\cdot10^{-12}$ Н.)

3. Ядро атома гелия, имеющее массу $6{,}7\cdot10^{-27}$ кг и заряд $3{,}2\cdot10^{-19}$ Кл, влетает в однородное магнитное поле и начинает двигаться по окружности радиусом 1 м. Индукция магнитного поля равна 10^{-2} Тл. Рассчитайте скорость этой частицы. (*Ответ:* $4{,}8\cdot10^5$ м/с.)

4. Электрон, попадая в однородное электрическое поле, движется по направлению силовых линий. Рассчитайте, через какой промежуток времени скорость электрона станет равной нулю, если напряженность поля равна 100 Н/Кл, а начальная скорость электрона равна $2\cdot10^6$ м/с. (*Ответ:* $1{,}1\cdot10^{-7}$ с.)

5. В плоский конденсатор параллельно его пластинам со скоростью $3\cdot10^7$ м/с влетает электрон. При вылете из конденсатора он смещается к одной из пластин на $8{,}76\cdot10^{-3}$ м. Длина каждой пластины конденсатора равна 3 см, расстояние между ними равно 2 см. Напряженность электрического поля равна $2\cdot10^4$ Н/Кл. Определите отношение заряда электрона и его массу. (*Ответ:* $1{,}8\cdot10^{11}$ Кл/кг.)

6. Пылинка, заряд которой равен 10 мк Кл, а масса равна 1 мг, влетает в однородное магнитное поле и движется по окружности. Индукция магнитного поля равна 1 Тл. Сколько оборотов сделает пылинка за 3,14 с? (*Ответ:* 5.)

II вариант

1. Какой должна быть напряженность однородного электрического поля, чтобы находящийся в поле покоящийся электрон получил ускорение $2\cdot10^{12}$ м/с^2? (*Ответ:* 11,4 Н/Кл.)

2. В однородное магнитное поле влетает электрон со скоростью $4{,}6\cdot10^6$ м/с, направленной перпендикулярно линиям магнитной индукции. Индукция магнитного поля равна $8{,}5\cdot10^{-3}$ Тл. Рассчитайте силу, действующую на электрон в магнитном поле. (*Ответ:* $6{,}3\cdot10^{-15}$ Н.)

3. Между двумя параллельными пластинами, вертикально расположенными, подвешен шарик массой 0,1 г. Пластины заряжены, и при напряженности 45,000 Н/Кл шарик отклоняется от вертикали на угол, равный 10°. Найдите заряд шарика. (*Ответ:* $4\cdot10^{-9}$ Кл.)

4. Протон влетает в однородное магнитное поле, индукция которого равна $3{,}4\cdot10^{-2}$ Тл, перпендикулярно линиям магнитной индукции со скоростью $3{,}5\cdot10^5$ м/с. Определите радиус кривизны траектории электрона. Масса протона $8{,}67\cdot10^{-27}$ кг, заряд протона равен $1{,}6\cdot10^{-19}$ Кл. (*Ответ:* 10 м.)

5. В однородном электрическом поле с напряженностью $3\cdot10^6$ Н/кг, линии напряженности составляют с вертикалью угол 30°, на нити

висит шарик массой 2 г. Заряд его равен 3,3 мКл. Найти силу натяжения нити, если:

1) линии напряженности направлены вверх;

2) линии напряженности направлены вниз.

(*Ответ:* $1{,}2\cdot10^{-2}$ Н/Кл, 2,9 10^{-2} Н/Кл.)

6. Два электрона движутся по окружности в однородном магнитном поле в плоскости, перпендикулярной линиям индукции поля. Найдите отношение периодов обращения электронов, если кинетическая энергия первого в 4 раза больше кинетической энергии второго. (*Ответ:* 1:1.)

Ученик может выбрать любые задачи:

$\left.1, 2\right\}$ *оценка* «3»;

$\left.\begin{matrix}1, 2, 3\\ 1, 2, 4\end{matrix}\right\}$ *оценка* «4»;

$\left.\begin{matrix}3, 4, 5\\ 3, 4, 6\end{matrix}\right\}$ *оценка* «5».

Возможны и другие варианты на усмотрение учителя.

III. Подведение итогов урока

Домашнее задание

Задача № 250.

Глава 2. Электромагнитная индукция

Урок 11. Индукция электрического поля. Правило Ленца

Цель: ознакомить учащихся с явлением электромагнитной индукции.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Актуализация знаний

1. Фронтальный опрос.

– В чем заключается гипотеза Ампера?

– Что такое магнитная проницаемость?

– Какие вещества называют пара- и диамагнетиками?

– Что такое ферромагнетики?
– Что такое ферриты?
– Где применяются ферриты?
– Откуда известно, что вокруг Земли существует магнитное поле?
– Где находится Северный и Южный магнитные полюса Земли?
– Какие процессы происходят в магнитосфере Земли?
– Какова причина существования магнитного поля у Земли?

2. Анализ экспериментов.

Эксперимент 1

Магнитную стрелку на подставке поднесли к нижнему, а затем к верхнему концу штатива. Почему стрелка поворачивается к нижнему концу штатива с любой стороны южным полюсом, а к верхнему концу – северным концом? (*Все железные предметы находятся в магнитном поле Земли. Под действием этого поля они намагничиваются, причем нижняя часть предмета обнаруживает северный магнитный полюс, а верхняя – южный.*)

Эксперимент 2

В большой корковой пробке сделайте небольшой желобок для куска проволоки. Пробку опустите в воду, а сверху положите проволоку, располагая ее по параллели. При этом проволока вместе с пробкой поворачивается и устанавливается по меридиану. Почему? (*Проволока была намагничена и устанавливается в поле Земли как магнитная стрелка.*)

III. Изучение нового материала

Между движущимися электрическими зарядами действуют магнитные силы. Магнитные взаимодействия описываются на основе представления о магнитном поле, существующем вокруг движущихся электрических зарядов. Электрические и магнитные поля порождаются одними и теми же источниками – электрическими зарядами. Можно предположить, что между ними есть связь.

В 1831 г. М. Фарадей подтвердил этот экспериментально. Он открыл явление электромагнитной индукции.

Эксперимент 1

Гальванометр подсоединяем к катушке, и будем выдвигать из нее постоянный магнит. Наблюдаем отклонение стрелки гальванометра, появился ток (индукционный).

Ток в проводнике возникает, когда проводник оказывается в области действия переменного магнитного поля.

Переменное магнитное поле Фарадей представлял как изменение числа силовых линий, пронизывающих поверхность, ограниченную

данным контуром. Это число зависит от индукции B магнитного поля, от площади контура S и его ориентации в данном поле.

$$\Phi = BS\cos\alpha$$ – магнитный поток.

Ф [Вб] Вебер.

Индукционный ток может иметь разные направления, которые зависят от того, убывает или возрастает магнитный поток, пронизывающий контур. Правило, позволяющее определить направление индукционного тока, было сформулировано в 1833 г. Э. Х. Ленцем.

Эксперимент 2

В легкое алюминиевое кольцо вдвигаем постоянный магнит. Кольцо отталкивается от него, а при выдвигании притягивается к магниту.

Результат не зависит от полярности магнита. Отталкивание и притягивание объясняется возникновением в нем индукционного тока.

При вдвигании магнита магнитный поток через кольцо возрастает: отталкивание кольца при этом показывает, что индукционный ток в нем имеет такое направление, при котором вектор индукции его магнитного поля противоположен по направлению вектору индукции внешнего магнитного поля.

Правило Ленца:

Индукционный ток имеет всегда такое направление, что его магнитное поле препятствует любым изменениям магнитного потока, вызывающим появление индукционного тока.

IV. Проведение лабораторной работы

Лабораторная работа по теме «Опытная проверка правила Ленца»

Приборы и материалы: миллиамперметр, катушка-моток, магнит дугообразный.

Ход работы

1. Приготовьте таблицу.

№	Способ получения индукционного тока	I	$\vec{B}$	$\vec{B}_M$	$\Delta\Phi_M$
1	Внесите в катушку северный полюс магнита				
2	Удалите из катушки северный полюс магнита				
3	Внесите в катушку южный полюс магнита				
4	Удалите из катушки южный полюс магнита				

2. Подключите катушку-моток к зажимам миллиамперметра и выполните действия, указанные во втором столбце таблицы. При выполнении опытов положение катушки не меняется, а магнит перемещается с одной и той же стороны катушки.

3. Для каждого способа получения индукционного тока определите:

1) направление индукционного тока;
2) направление вектора магнитного индукционного поля индукционного тока $\vec{B}$ в катушке;
3) направление вектора магнитной индукции поля $\vec{B}_M$ в катушке;
4) изменение магнитного поля магнита $\Delta\Phi_M$ через катушку.

Вопросы для закрепления:

- Как изменился магнитный поток через катушку при приближении и удалении магнита?
- Как направлены векторы $\vec{B}$ и $\vec{B}_M$ при возрастании и убывании магнитного потока Φ_M через катушку?
- Какой вывод можно сделать из проведенных опытов о направлении индукционного тока?

Примечание: Направление I, $\vec{B}$, $\vec{B}_M$ условно изобразить в виде горизонтальных стрелок соответствующего направления, а $\Delta\Phi_M$ знаками «t» (возрастание магнитного поля) и «–» (убывание магнитного поля).

V. Продолжение изучения материала

Открытие электромагнитной индукции

Следующим важным шагом в развитии электродинамики после опытов Ампера было открытие явления электромагнитной индукции. Открыл явление электромагнитной индукции английский физик Майкл Фарадей (1791–1867).

Фарадей, будучи еще молодым ученым, так же как и Эрстед, думал, что все силы природы связаны между собой и, более того, что они способны превращаться друг в друга. Интересно, что эту мысль Фарадей высказывал еще до установления закона сохранения и превращения энергии. Фарадей знал об открытии Ампера, о том, что он, говоря образным языком, превратил электричество в магнетизм. Раздумывая над этим открытием, Фарадей пришел к мысли, что если «электричество создает магнетизм», то и наоборот, «магнетизм должен создавать электричество». И вот еще в 1823 г. он записал в своем дневнике: «Обратить магнетизм в электричество». В течение восьми лет Фарадей работал над решением поставленной задачи.

Долгое время его преследовали неудачи, и, наконец, в 1831 г. он решил ее – открыл явление электромагнитной индукции.

Во-первых, Фарадей обнаружил явление электромагнитной индукции для случая, когда катушки намотаны на один и тот же барабан. Если в одной катушке возникает или пропадает электрический ток в результате подключения к ней или отключения от нее гальванической батареи, то в другой катушке в этот момент возникает кратковременный ток. Этот ток обнаруживается гальванометром, который присоединен ко второй катушке.

Затем Фарадей установил наличие индукционного тока в катушке, когда к ней приближали или удаляли от нее катушку, в которой протекал электрический ток.

Наконец, третий случай электромагнитной индукции, который обнаружил Фарадей, заключался в том, что в катушке появлялся ток, когда в нее вносили или же удаляли из нее магнит.

Открытие Фарадея привлекло внимание многих физиков, которые также стали изучать особенности явления электромагнитной индукции. На очереди стояла задача установить общий закон электромагнитной индукции. Нужно было выяснить, как и от чего зависит сила индукционного тока в проводнике или от чего зависит значение электродвижущей силы индукции в проводнике, в котором индуцируется электрический ток.

Эта задача оказалась трудной. Она была полностью решена Фарадеем и Максвеллом позже в рамках развитого ими учения об электромагнитном поле. Но ее пытались решить и физики, которые придерживались обычной для того времени теории дальнодействия в учении об электрических и магнитных явлениях.

Кое-что этим ученым удалось сделать. При этом им помогло открытое петербургским академиком Эмилием Христиановичем Ленцем (1804–1865) правило для нахождения направления индукционного тока в разных случаях электромагнитной индукции. Ленц сформулировал его так: «Если металлический проводник движется поблизости от гальванического тока или магнита, то в нем возбуждается гальванический ток такого направления, что если бы данный проводник был неподвижным, то ток мог бы обусловить его перемещение в противоположную сторону; при этом предполагается, что покоящийся проводник может перемещаться только в направлении движения или в противоположном направлении».

Это правило очень удобно для определения направления индукционного тока. Им мы пользуемся и сейчас, только оно сейчас формулируется несколько иначе, с употреблением понятия электромагнитной индукции, которое Ленц не использовал.

Но исторически главное значение правила Ленца заключалось в том, что оно натолкнуло на мысль, каким путем подойти к нахождению закона электромагнитной индукции. Дело в том, что в этом правиле устанавливается связь между электромагнитной индукцией и явлением взаимодействии токов. Вопрос же о взаимодействии токов был уже решен Ампером. Поэтому установление этой связи на первых порах дало возможность определить выражение электродвижущей силы индукции в проводнике для ряда частных случаев.

В общем виде закон электромагнитной индукции, как мы об этом сказали, был установлен Фарадеем и Максвеллом.

VI. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 9–10.
Р – 902.

Урок 12. Закон электромагнитной индукции

Цель: сформулировать закон электромагнитной индукции.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение

– Опишите опыты, в которых можно наблюдать индукцию тока.
– Каким должно быть магнитное поле, чтобы в неподвижном проводнике появился индукционный ток?
– От чего зависит число силовых линий магнитного поля, пронизывающих данный контур?
– Как определяют направление нормали к контуру?
– Что такое «магнитный поток»?
– В каких единицах измеряется магнитный поток?
– В чем заключается правило Ленца?

III. Проведение лабораторной работы

Лабораторная работа по теме «Исследование зависимости силы индукционного тока от скорости изменения магнитного потока»

Оборудование: источник питания, миллиамперметр, катушка-моток, катушка с железным сердечником от разборного электромагнита, магнит дугообразный, реостат ползунковый, ключ замыкания тока, комплект проводов.

Ход работы

1. Подключите катушку-моток к зажимам миллиамперметра.

2. Вставляйте и вынимайте дугообразный магнит из катушки с различной скоростью и для каждого случая замечайте максимальную силу индукционного тока.

3. Катушку соедините с миллиамперметром; наденьте на катушку с железным сердечником и подключите последнюю через реостат и ключ замыкания тока к источнику питания.

4. Изменяйте силу тока в катушке электромагнита при помощи реостата с различной скоростью и для каждого случая замечайте максимальную силу индукционного тока.

5. Ответьте на вопросы:
   а) В каком случае скорость изменения магнитного потока через катушку, соединенную с миллиамперметром, была больше: при медленном или быстром движении магнита? При медленном или быстром изменении силы тока в катушке электромагнита?
   б) Что можно сказать о зависимости силы индукционного тока и ЭДС-индукции от скорости изменения магнитного потока через катушку?

6. Ответы запишите в тетрадь.

IV. Изучение нового материала

Магнитный поток наглядно истолковывается как число линий магнитной индукции, пронизывающих поверхность площадью S.

Если за малое время Δt магнитный поток меняется на $\Delta\Phi$, то скорость изменения потока

$$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \Rightarrow I_i \approx \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

Известно, что в цепи появляется электрический ток в том случае, если на свободные заряды проводника действуют сторонние силы. При изменении магнитного потока появляются сторонние силы, действие которых характеризует ЭДС.

$$I_i = \frac{\varepsilon_i}{R}.$$

Сопротивление зависит от изменения магнитного потока. Закон электромагнитной индукции формулируется для ЭДС.

$$\varepsilon_i = \left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right|.$$

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

Законом в таком виде можно пользоваться при равномерном изменении магнитного потока. В противном случае:

$$\varepsilon_i - \Phi'.$$

V. Закрепление изученного

- Почему закон электромагнитной индукции формулируется для ЭДС, а не для силы тока?
- Как формулируется закон электромагнитной индукции?
- Почему в законе электромагнитной индукции стоит знак «минус»?
- Что можно сказать о зависимости силы индукционного тока и ЭДС-индукции от скорости изменения магнитного потока через катушку?

VI. Решение задач

1. За какой промежуток времени магнитный поток изменяется на 0,004 Вб, если в контуре возбуждается ЭДС индукции 16 В? (*Ответ:* Δt = 2,5 мс.)

2. Соленоид содержит 100 витков проволоки. Найти ЭДС индукции, если в этом соленоиде за 5 мс магнитный поток равномерно изменяется от 3 мВб до 1,5 мВб. (*Ответ:* 0,3 В.)

3. В обмотке на стальном сердечнике с площадью поперечного сечения 100 см^2 в течение 0,01 с возбуждается ЭДС индукции 150 В при изменении магнитной индукции от 0,3 Тл до 1,3 Тл. Сколько витков в обмотке? (*Ответ:* 150.)

4. Проволочная прямоугольная рамка со сторонами 18 см и 5 см расположена в однородном магнитном поле перпендикулярно к силовым линиям. Определите индукцию этого поля, если при его исчезновении за 0,015 с в рамке возникает ЭДС = $4{,}5\cdot10^{-3}$ В. (*Ответ:* $\Delta B = 7{,}5\cdot10^{-3}$ Тл.)

5. Магнитный поток через контур проводника сопротивлением $3\cdot10^{-2}$ Ом за 2 с изменился на $1{,}2\cdot10^{-2}$ Вб. Какова сила тока, протекающего по проводнику, если изменения происходят равномерно? (*Ответ:* I = 0,2 А.)

6. Соленоид, состоящий из 80 витков и имеющий диаметр 8 см, находится в однородном магнитном поле, индукция которого равна 60,3 Тл. Соленоид поворачивается на 180° в течение 0,2 с. Найти среднее значение ЭДС, возникающее в соленоиде, если его ось до и после поворота направлена вдоль поля. (*Ответ:* ε = 0,24 В.)

VII. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 4;

Р – 911; Р – 912.

Урок 13. Лабораторная работа по теме «Изучение явления электромагнитной индукции»

Оборудование: миллиамперметр, источник питания, катушки с сердечниками, дугообразный магнит, выключатель кнопочный, соединительные провода, магнитная стрелка (компас), реостат.

Ход работы

1. Вставьте в одну из катушек железный сердечник, закрепив его гайкой. Подключите эту катушку через миллиамперметр, реостат и ключ к источнику питания. Замкните ключ и с помощью магнитной стрелки (компаса) определите расположение магнитных полюсов катушки с током. Зафиксируйте, в какую сторону отклоняется при этом стрелка миллиамперметра. В дальнейшем при выполнении работы можно будет судить о расположении магнитных полюсов катушки с током по направлению отклонения стрелки миллиамперметра.
2. Отключите от цепи реостат и ключ, замкните миллиамперметр на катушку, сохранив порядок соединения их клемм.
3. Приставьте сердечник к одному из полюсов дугообразного магнита и вдвиньте внутрь катушки, наблюдая одновременно за стрелкой миллиамперметра.
4. Повторите наблюдение, выдвигая сердечник из катушки, а также меняя полюса магнита.
5. Зарисуйте схему опыта и проверьте выполнение правила Ленца в каждом случае.
6. Расположите вторую катушку рядом с первой так, чтобы их оси совпадали.
7. Вставьте в обе катушки железные сердечники и присоедините вторую катушку через выключатель к источнику питания.
8. Замыкая и размыкая ключ, наблюдайте отклонение стрелки миллиамперметра.
9. Зарисуйте схему опыта и проверьте выполнение правила Ленца.

Домашнее задание

Р – 913; Р – 914.

Урок 14. Решение задач. Законы электромагнитной индукции

Цель: отработка практических навыков при решении задач.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение

– Что называется ЭДС-индукцией?
– Какая формула выражает основной закон электромагнитной индукции?
– Как формулируется правило Ленца?
– Объясните, как определяется направление индукционного тока в прямолинейном проводнике, движущемся в однородном магнитном поле. Как формируется правило правой руки?

III. Решение задач

1. Из провода длиной 2 м сделали квадрат, расположенный горизонтально. Какой заряд пройдет по проводу, если его потянуть за две диагонально противоположные вершины так, чтобы он сложился. Сопротивление провода 0,1 Ом. Вертикальная составляющая индукции магнитного поля Земли равна 50 мкТл.

Дано:
$m = 2$ м,
$R = 0{,}1$ Ом,
$B = 50$ мкТл.
$q - ?$

Решение:

$$\varepsilon_l = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t};\ \Delta\Phi = B\Delta S;$$

$$\Delta S = S_2 - S_1 = 0 - \frac{l^2}{16} = -\frac{l^2}{16}.$$

$$\varepsilon_i = \frac{Bl^2}{16\Delta t};\ I = \frac{\varepsilon_i}{R} = \frac{Bl^2}{16R\Delta t}.\ q = I\Delta t = \frac{Bl^2}{16R} = 125 \text{ мкКл}.$$

(*Ответ:* $q = 125$ мкКл.)

2. Металлический стержень равномерно вращается вокруг одного из его концов в однородном магнитном поле в плоскости, перпендикулярной к основным линиям поля. Угловая скорость вращения стержня $\omega = 75$ рад/с, его длина $l = 0{,}4$ м, магнитная индукция поля $B = 0{,}1$ Тл. Найти ЭДС-индукцию стержня.

Дано:
$\omega = 75$ рад/с,
$l = 0{,}4$ м,
$B = 0{,}1$ Тл.
$\varepsilon - ?$

Решение:

$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{B\Delta S}{\Delta t}$, где ΔS – площадь, описываемая стержнем за Δt.

$\Delta S = N\pi l^2$, где N – число оборотов.

$$N = \frac{\omega\Delta t}{2H};\ \Delta S = \frac{\omega l^2 \Delta l}{2};\ \varepsilon = \frac{\omega B l^2}{2} = 0{,}6 \text{ В}.$$

(*Ответ:* $\varepsilon = 0{,}6$ В.)

3. Плоский проводящий виток, площадью $S = 60$ см^2, находится в однородном магнитном поле с индукцией B = 0,4 Тл. Какой заряд пройдет по контуру, если его повернуть на угол 90°? угол 180°?

Сопротивление контура $R = 2$ Ом.

Дано:	Решение:
$S = 60$ см^2, $B = 0{,}4$ Тл, $R = 2$ Ом, $\alpha = 90°$, $\alpha = 18°$.	$q = I\Delta t$; $I = \frac{\varepsilon}{R}$; $\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{\Delta t}$; $q = -\frac{\Delta\Phi}{R}$. Если повернуть на $\alpha = 90°$, то $\Phi_2 = 0$, $\Phi_1 = BS$, $\Delta\Phi = 0 - BS = -BS$.
$q_1 - ?$ $q_2 - ?$	$q_1 = \frac{BS}{R}$; $q_1 = 1{,}2$ мКл.

На угол $\alpha = 18°$, $\Delta\Phi = -2BS$.

$\Phi_2 - \Phi_1 = -BS - BS = -2BS$;

$q_2 = \frac{2BS}{R}$; $q_2 = 2{,}4 \cdot 10^{-3}$ Кл.

(*Ответ:* $q_1 = 1{,}2$ мКл, $q_2 = 2{,}4 \cdot 10^{-3}$ Кл.)

4. Из куска тонкой проволоки сделано кольцо. При включении магнитного поля, направленного перпендикулярно плоскости конца, по нему протек заряд $Q = 10^{-5}$ Кл. Какой заряд Q_2 протечет по проволоке, если при включении поля кольцо деформировать в квадрат, расположенный в той же плоскости?

(*Ответ:* $-0{,}2 \cdot 10^{-5}$ Кл.)

5. Катушка сопротивлением R = 100 Ом, состоящая из N = 1000 витков площадью $S = 5$ см^2 каждый, внесена в однородное магнитное поле, которое уменьшилось по величине от B_1 = 0,8 Тл до B_2 = 0,3 Тл и не изменилось по направлению. Какой заряд прошел по проводнику за это время?

(*Ответ:* $2{,}5 \cdot 10^{-6}$ Кл.)

6. Вектор магнитной индукции поля перпендикулярен плоскости кольца диаметром d = 22 мм и его проекция на нормаль к плоскости круга изменяется от $B_{n_1} = -0{,}4$ Тл до $B_{n_2} = 0{,}55$ Тл за $80 \cdot 10^{-3}$ с. Найти ЭДС-индукцию.

(*Ответ:* 0,45 В.)

7. Проволочное кольцо диаметром d = 5 Ом помещено в переменное магнитное поле перпендикулярно его плоскости. Магнитная индукция нарастает линейно за $\Delta t_1 = 15$ с от нуля до B = 0,02 Тл и

затем линейно уменьшается до нуля за $\Delta t_2 = 20$ с. Какое количество теплоты выделится в кольце?

IV. Подведение итогов урока

Домашнее задание

Р – 915.

Урок 15. Вихревое электрическое поле. ЭДС-индукции в движущихся проводниках

Цель: выяснить условия возникновения ЭДВ в движущихся проводниках.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение

– В чем заключается явление электромагнитной индукции?
– Какие условия необходимы для существования явления электромагнитной индукции?
– Как устанавливается направление индукционного тока правилом Ленца?
– По какой формуле определяется ЭДС индукции и какой физический смысл имеет знак «минус» в этой формуле?

III. Изучение нового материала

Возьмем трансформатор. Включив одну из обмоток в сеть переменного тока, получим ток в другой катушке. На свободные заряды действует электрическое поле.

Электроны в неподвижном проводнике приводятся в движение электрическим полем, и электрическое поле непосредственно порождается переменным магнитным полем. Изменяясь во времени, магнитное поле порождает электрическое поле. Поле приводит в движение электроны в проводнике и тем самым обнаруживает себя. Электрическое поле, возникающее при изменении магнитного поля, имеет другую структуру, чем электростатическое. Оно не связано с зарядами, оно нигде не начинается и нигде не заканчивается. Представляет собой замкнутые линии. Его называют вихревым электрическим полем. Но в отличие от стационарного электрического поля, работа вихревого поля по замкнутому пути не равна нулю.

Индукционный ток в массивных проводниках называют **токами Фуко**.

Применение: плавка металлов в вакууме.

Вредное действие: бесполезная потеря энергии в сердечниках трансформаторов и в генераторах.

ЭДС при движении проводника в магнитном поле

При движении перемычки *U* на электроны действует сила Лоренца, совершающая работу. Электроны перемещаются от *C* к *A*. Перемычка – источник ЭДС, следовательно,

$$A = F_л \cdot д = qvBl\ ;\ \varepsilon = \frac{A}{q} = Bvl\ ;$$

$$\varepsilon = Bvl\ .$$

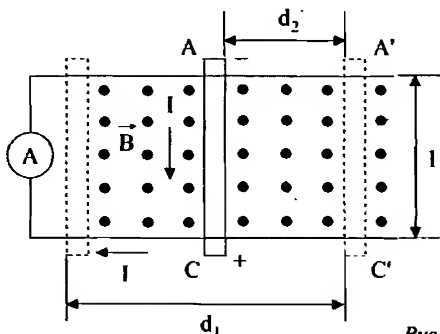


Рис. 10

Формула используется в любом проводнике, движущемся в магнитном поле, если $\vec{v} \perp \vec{B}$. Если между векторами $\vec{v}$ и $\vec{B}$ есть угол α, то используется формула:

$$\varepsilon = Bvl \sin\alpha\ .$$

Так как $v = \frac{\Delta d}{\Delta t}$, а $\Delta tl = \Delta S$, то

$$\varepsilon = -\frac{B(S_2 - S_1)}{\Delta t} = \frac{B(S_1 - S_2)}{\Delta t} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\ .$$

Причина возникновения ЭДВ – сила Лоренца. Знак ε можно определить по правилу правой руки.

IV. Закрепление изученного материала

- Какое поле называется индукционными или вихревым электрическим полем?
- Что является источником индукционного электрического поля?
- Что такое токи Фуко? Приведите примеры их использования. В каких случаях с ними приходится бороться?

– Какими отличительными свойствами обладает индукционное электрическое поле по сравнению с магнитным полем? Стационарным или электростатическим полем?

V. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 12; 13.

Урок 16. Самоиндукция

Цель: ознакомить с явлением самоиндукции.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение

– Что представляет собой генератор параллельного тока?
– Опишите его устройство и принцип действия.
– Чем отличается генератор постоянного тока от генератора переменного тока?

III. Изучение нового материала

Если по катушке идет переменный ток, то магнитный поток, пронизывающий катушку, меняется. Поэтому возникает ЭДС индукции в том же самом проводнике, по которому идет переменный ток. Это явление называют самоиндукцией.

Эксперимент 1

Соберем схему (см. рис. 11):

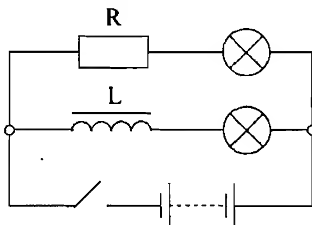


Рис. 11

При замыкании ключа первая лампа вспыхивает практически сразу, вторая – с заметным опозданием.

ЭДС самоиндукции в цепи этой лампы велика, и сила тока не сразу достигает своего значения.

Эксперимент 2

Соберем схему (см. рис. 12):

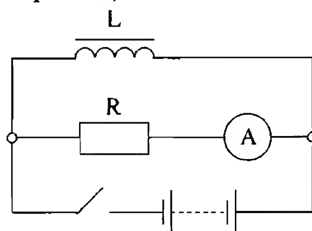


Рис. 12

При размыкании полюса в катушке L возникает ЭДС самоиндукции, поддерживающая первоначальный ток. В результате в момент размыкания через гальванометр течет ток, направленный против начального тока до размыкания.

Сила тока при размыкании цепи может превосходить силу тока, проходящего через гальванометр при замкнутом ключе.

Магнитный поток Ф пропорционален индукции магнитного поля B, эта индукция пропорциональна силе тока в цепи:

$$\Phi \approx I$$
$$\Phi = LI$$

где L – коэффициент пропорциональности, зависящий от формы и размеров проводящего контура и магнитной проницаемости среды, в которой находится.

L [Гн] Генри.

Возникающее при самоиндукции вихревое электрическое поле характеризуется электродвижущей силой. В данном случае ЭДС самоиндукции (ε_S):

$$\varepsilon_S = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t};$$

$$\varepsilon_S = -L\frac{\Delta I}{\Delta t};$$

$$\varepsilon_S = -LI'.$$

Магнитная энергия проводника с током:

$$W_м = \frac{LI^2}{2}.$$

Объемная плотность энергии.

$$\omega_м = \frac{B^2}{\varepsilon\mu\mu_0}.$$

IV. Закрепление материала

- Что называется самоиндукцией?
- Как направлены по отношению к току линии напряженности вихревого электрического поля в проводнике при увеличении и уменьшении силы тока?
- Что называется индуктивностью?
- Что принимают за единицу индуктивности в «СИ»?
- Чему равна ЭДС самоиндукции?
- Почему для создания тока источник должен затратить энергию?
- Чему равна энергия электрического поля?

V. Решение задач

1. Определите энергию магнитного поля катушки, в котором при токе 7,5 А магнитный поток равен $2{,}3\cdot10^{-3}$ Вб. Число витков в катушке – 120. Как изменится энергия поля, если сила тока изменится вдвое? (*Ответ:* $W = 1{,}035$ Дж; уменьшится в 4 раза.)

2. Магнитное поле катушки с индуктивностью 95 мГн обладает энергией 0,19 Дж. Чему равна сила тока в катушке? (*Ответ:* 2 А.)

3. Какой заряд пройдет через поперечное сечение витка, сопротивление которого 0,03 Ом, при уменьшении магнитного потока внутри витка на 12 мВб? (*Ответ:* $q = 0{,}4$ Кл.)

4. Какова скорость изменения силы тока в обмотке реле с индуктивностью 3,5 Гн, если в ней возбуждается ЭДС самоиндукции 105 В. (*Ответ:* $\frac{\Delta I}{\Delta t} = 30$ А/с.)

5. Катушку с ничтожно малым сопротивлением и индуктивностью 3 Гн присоединяют к источнику тока с ЭДС 15 В и ничтожно малым внутренним сопротивлением. Через какой промежуток времени сила тока в катушке достигнет 50 А? (*Ответ:* $t = 10$ с.)

VI. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 15.

Р – 918; Р – 919.

Урок 17. Решение задач

Цель: отработка практических навыков при решении задач.

Оборудование: источник питания, миллиамперметр, катушка с железным сердечником, резисторы сопротивлением 2 Ом и 4 Ом, реостат ползунковый, ключ замыкания, провода.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Проведение лабораторной работы

Лабораторная работа по теме «Исследование зависимости ЭДС самоиндукции от индуктивности проводника и скорости изменения в нем силы тока»

Ход работы

1. Соберите схему (см. рис. 13):

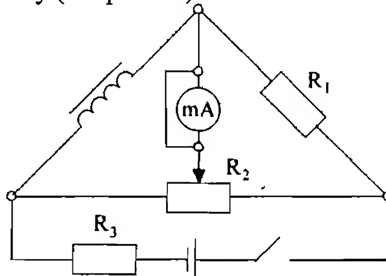


Рис. 13

$R_1 = 4$ Ом; $R_3 = 2$ Ом

2. Поставьте ползунок реостата примерно в среднее положение, зашунтируйте миллиамперметр соединенным проводом и замкните цепь. Слегка передвигая ползунок вправо – влево, добейтесь отсутствия тока через миллиамперметр. После этого отключите шунт от миллиамперметра и приступайте к наблюдению самоиндукции.

3. Размыкая и замыкая цепь, наблюдайте отклонение стрелки миллиамперметра то в одну, то в другую сторону. Объясните наблюдаемое явление.

4. Вставьте в катушку железный сердечник и снова повторите опыт. Зависит ли ЭДС самоиндукции, возникающая в катушке от ее индуктивности?

5. Повторите предыдущий опыт, изменив силу тока в катушке. (Отключите резистор R_3.) Зависит ли ЭДС самоиндукции, возникающая в катушке от скорости изменения в ней силы тока?

6. Сделайте общий вывод и запишите в тетрадь.

III. Решение задач

Задачи на «3» балла

1. Магнитный поток через катушку, состоящую из 75 витков, равен $4{,}8 \cdot 10^{-3}$ Вб. Рассчитайте время, за которое должен исчезнуть этот

поток, чтобы в катушке возникла ЭДС индукции, равная 0,74 В. (*Ответ:* 0,5 с.)

2. В катушке, индуктивность которой равна 0,4 Гн, возникла ЭДС, равная 20 В. Рассчитайте изменение силы тока и энергию магнитного поля катушки, если это произошло за 0,2 с. (*Ответ:* 10 А; 20 Дж.)

3. Определите скорость самолета при горизонтальном полете, если ЭДС индукции, возникающая на его крыльях длиной 15 м равна 0,12 В, а вертикальная составляющая магнитной индукции магнитного поля Земли равна 0,5·10–4 Тл. (*Ответ:* 160 м/с.)

Задачи на оценку «4» балла

1. Проволочное кольцо радиусом 5 см расположено в однородном магнитном поле, индукция которого равна 1 Тл так, что вектор индукции перпендикулярен плоскости кольца. Определите ЭДС индукции, возникающую в кольце, если его повернуть на угол 90° за время, равное 0,1 с. (*Ответ:* 0,08 В.)

2. Проводник длиной 60 см и сопротивлением 0,02 Ом движется по медным проводам и источнику тока, ЭДС которого равна 0,96 В, внутреннее сопротивление равно 0,01 Ом. Найдите силу тока в проводнике, если он движется равномерно со скоростью 0,5 м/с перпендикулярно к магнитному полю, у которого индукция равна 2,6 Тл. (*Ответ:* 16 А.)

3. В результате изменения силы тока с 4 А до 20 А поток магнитной индукции через площадь поперечного сечения катушки, имеющей 1000 витков изменился на 0,002 Вб. Найдите индуктивность катушки. (*Ответ:* 0,125 Гн.)

Задачи на оценку «5» баллов

1. Два металлических стержня расположены вертикально и замкнуты вверху проводником. По ним без трения и нарушения контакта скользит перемычка длиной 2 см массой 1 г. Вся система находится в однородном магнитном поле, у которого индукция равна 0,01 Тл и перпендикулярна плоскости рамки. Установившаяся скорость равна 0,8 м/с. Найдите сопротивление перемычки. (*Ответ:* $3{,}3\cdot10^{-6}$ Ом.)

2. Катушка индуктивности диаметром 4 см, имеющая 400 витков медной проволоки, у которой площадь поперечного сечения равна 1 мм^2, расположена в однородном магнитном поле. Магнитная индукция этого поля направлена вдоль оси катушки и равномерно изменяется за 1 с на 0,1 Тл. Концы катушки замкнуты накоротко. Определите количество теплоты, выделяющейся в катушке за 1 с. Удельное сопротивление меди равно $8{,}7\cdot10^{-8}$ Ом·м. (*Ответ:* $2{,}95\cdot10^{-3}$ Дж.)

3. Проволочная катушка диаметром 5 см помещена в однородное магнитное поле параллельно ее оси. Индукция поля равномерно изменяется за 1 с на 0,01 Тл. Катушка содержит 1000 витков медного провода сечением 0,2 мм^2. Удельное сопротивление меди равно $1{,}7\cdot10^{-8}$ Ом·м. К концам катушки подключен конденсатор емкостью 10 мкФ. Определите заряд на конденсаторе. (*Ответ:* $1{,}95\cdot10^{-7}$ Кл.)

IV. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 14–15;
Р – 919.

Урок 18. Решение экспериментальных задач

Цель: научить пользоваться теоретическими знаниями на практике.

Оборудование: катушки, гальванометр, провода, ключ.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Решение задач

Класс делится на группы: каждая группа получает свое задание в зависимости от степени подготовленности.

1. Сложите вместе два полюсовых магнита разноименными, а потом одноименными полюсами и вносите их с одинаковой скоростью в катушке, замкнутую на гальванометр. Объясните, в чем различие.

2. Исследуйте и объясните качественно зависимость силы индукционного тока от угла между продольными осями катушек. Выполнив рисунки, объясните результаты.

Указания. Используются катушки с обозначенным направлением намотки. Направление тока в катушке определяется по указанной полярности клемм гальванометра и направления отброса стрелки.

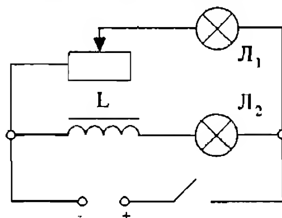


Рис. 14

3. Имеется катушка, которая снята с сердечника. Ключ замкнут. Быстрым движением наденьте катушку на сердечник. Объясните изменение накала лампочки *Л*. Как изменится ее накал, если катушку снова быстро снять с сердечника?

4. Предложите, опишите и проведите несколько вариантов опыта для определения направления тока в катушке при размыкании цепи.

5. Как с помощью набора неоновых лампочек оценить порядок величины ЭДС самоиндукции при размыкании цепи?

6. Используя конденсатор и катушку с сердечников, разработайте модель простейшего электрического фильтра для сглаживания пульсации напряжения на выходе выпрямления.

III. Подведение итогов урока

Домашнее задание

Р – 920; Р – 921.

Урок 19. Решение задач

Цель: отработка методов решения задач.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Решение задач

1. Проволочный виток площадью S = 100 см^2 разрезан в некоторой точке и в разрез включен конденсатор емкостью C = 10 мкФ. Виток помещен в однородное магнитное поле, линии индукции которого перпендикулярны плоскости витка.

Индукция магнитного поля равномерно возрастает со скоростью $\frac{\Delta B}{\Delta t} = 5 \cdot 10^{-3}$ Тл/с. Определите заряд Q конденсатора. (*Ответ:* $5 \cdot 10^{-10}$ Кл.)

2. Площадь витка из проводника уменьшается с постоянной скоростью $\left|\frac{\Delta S}{\Delta t}\right| = 6,5 \cdot 10^{-2} =$ м^2/с. Виток находится в однородном поле с индукцией B = 0,42 Тл, перпендикулярном плоскости витка. Определите ЭДС индукции в витке. (*Ответ:* $2,73 \cdot 10^{-2}$ В.)

3. Из провода длиной l = 2 м и сопротивлением R = 4 Ом изготовлен квадрат. В одну сторону квадрата включен источник ЭДС ε = 10 В. Цепь помещена в однородное магнитное поле, вектор индукции которого перпендикулярен плоскости квадрата и направлен за чертеж.

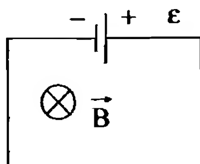


Рис. 15

Индукция магнитного поля возрастает со временем по закону:

$$B = K \cdot t,$$

где K = 16 Тл/с. Найдите величину I тока в цепи. Внутреннее сопротивление источника мало. (*Ответ:* 1,5 А.)

4. Прямой проводник длиной l = 10 см помещен в однородное магнитное поле с индукцией B = 1 Тл. Концы проводника замкнуты гибким проводом, уходящим за пределы магнитного поля. Сопротивление всей цепи R = 0,4 Ом. Какая мощность N потребуется, чтобы двигать проводник перпендикулярно вектору $\vec{B}$ со скоростью υ = 20 м/с. Вектор скорости перпендикулярен проводнику. (*Ответ:* 10 Вт.)

5. По двум вертикальным проводам AC и DE, соединенным сопротивлением R, может двигаться без трения, но с идеальным электрическим контактом проводник длиной l и массой m. Плоскость контура $ACED$ перпендикулярна однородному, постоянному магнитному полю с индукцией $\vec{B}$. Найдите величину υ установившейся скорости движения проводника.

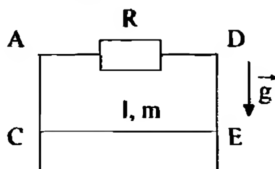


Рис. 16

(*Ответ:* $\left(\upsilon = \dfrac{mgR}{B^2 l^2}\right)$.)

6. Стержень массой m = 0,2 кг лежит на горизонтальных рельсах перпендикулярно им. Расстояние между рельсами l = 40 см. Вектор индукции однородного магнитного поля, величиной B = 50 Тл, направлен вертикально вверх. Коэффициент трения скольжения стержня по рельсам μ = 0,1. Какой минимальный по величине ток следует пропустить по стержню, чтобы он сдвинулся? (*Ответ:* 10 А.)

III. Подведение итогов урока

Домашнее задание

Р – 923; Р – 924.

Урок 20. Решение качественных задач

Цель: отработка практических навыков при решении задач.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Актуализация знаний

1. Физический диктант

   1. Явление электромагнитной индукции.
   2. Фарадей и его опыты.
   3. Правило Ленца.
   4. Закон электромагнитной индукции (для неподвижных и подвижных контуров).
   5. Правило левой руки.
   6. Самоиндукция.
   7. Индуктивность.
   8. Энергия магнитного поля.
   9. Магнитный поток.
   10. Соленоид.
   11. Дроссель.

2. Работа в группах.

I группа

1. Для чего на горловину телевизионных кинескопов надевают магниты? (*В магнитном поле на движущиеся электроны действует сила Лоренца, отклоняя их от прямолинейного движения по горизонтали или вертикали.*)

2. Стеклянные U-образные трубки, наполненные ртутью, соединены скобой из толстой алюминиевой проволоки. Как должны быть расположены полюсы сильного постоянного магнита, чтобы при замыкании ключа алюминиевая проволока взлетела вверх? (*Вектор индукции должен быть направлен к нам.*)

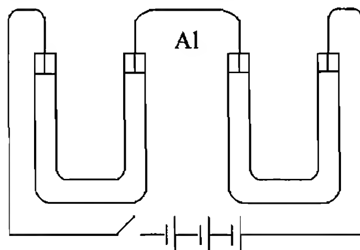


Рис. 17

3. Почему иногда недалеко от места удара молнией плавятся предохранители и повреждаются чувствительные электроизмерительные приборы? (*Изменяющее магнитное поле молнии индуцирует в электроизмерительных приборах и в осветительных сетях сильные токи.*)

4. Эксперимент.

Соберите установку.

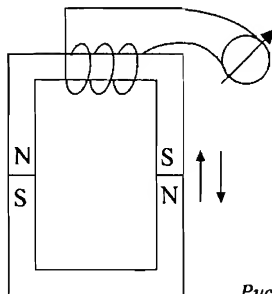


Рис. 18

Два одинаковых магнита сложены противоположными концами. На один надета катушка, а концы выведены к гальванометру. В момент отрыва одного от другого стрелка гальванометра отклоняется. (*Отрывание магнитов друг от друга и их соединение связано с изменением магнитного потока и наведением в ней ЭДС.*)

II группа

1. Для гашения электрической дуги, образующейся при размыкании больших токов, часто вблизи рубильника располагают магнит так, чтобы линии магнитной индукции были перпендикулярны возникающей дуге. Почему? (*Электроны и ионы, образующие дуги, отклоняются в магнитном поле, дуга смещается в сторону и гаснет.*)

2. В кольцо из диэлектрика вдвигают магнит. Какое явление возникает? (*Поляризация диэлектрика.*)

3. Почему на заводе для переноса раскаленных болванок нельзя использовать электромагнитные краны? (*При нагревании ферромагнетики теряют магнитные свойства или полностью исчезают при температуре Кюри.*)

4. Эксперимент.

На железный сердечник надевают алюминиевое кольцо. Кольцо держится в воздухе. Если надеть на сердечник и приблизить к алюминиевому кольцу медное (не выпуская из рук), то алюминиевое кольцо будет подниматься. Почему? (*Кольца сближаются, так как в концах находятся токи одинакового направления.*)

III группа

1. Два тонких проводника, имеющих форму окружности, расположены в перпендикулярных плоскостях. Будет ли в проводнике *A* возникать индукционный ток при изменении тока в контуре *B*? (*Не будет, так как поток магнитной индукции контура B не пронизывает контур A.*)

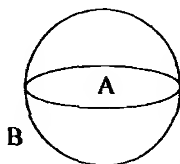


Рис. 19

2. Почему корпус компаса не делают из железа? (*Железо является ферромагнетиком, и все магнитные силовые линии пойдут через корпус, уже не оказывая влияния на стрелку.*)

3. Для исследования стальных балок, рельсов и т. д. на них надевают катушку изолированной проволоки, замкнутую на гальванометр, и перемещают ее вдоль балки. При всякой неоднородности строения в гальванометре возникает ток. Почему? (*Неоднородность создает искажение магнитного потока, а значит, в катушке дефектоскопа наводится ЭДВ индукция.*)

4. Эксперимент.

Концы сложенной вдвое проволоки присоединены к гальванометру. Проволока движется, пересекая линии индукции магнитного поля, но стрелка гальванометра остается на нуле. Почему? (*В отрезках проволоки возникают разные по знаку, но одинаковые по величине ЭДС индукции, которые взаимно компенсируются.*)

IV группа

1. Проволочная прямоугольная рамка падает между полюсами электромагнита. Укажите напряжение индукционных токов в рамке при прохождении ею положений *A*, *B*, *C*. (*При прохождении точки A против часовой стрелки, в точке B ток отсутствует, в точке C ток направлен по часовой стрелке.*)

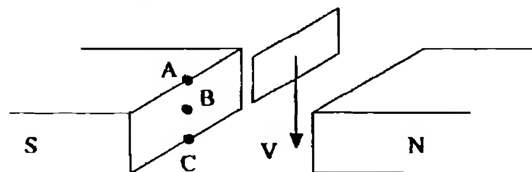


Рис. 20

2. Почему сверхпроводящий шарик «парит» в магнитном поле? (*Возникают токи Фуко, магнитное поле которых противодействует магнитному полю, вызвавшему эти токи. Взаимодействуют одинаковые одноименные полюсы.*)

3. В какой момент искрит рубильник: при замыкании или размыкании? (*ЭДС самоиндукция, возникающая при размыкании, вызывает искру через рубильник.*)

4. Эксперимент.

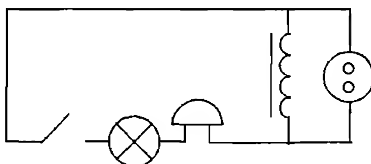


Рис. 21

Если два демонстрационных гальванометра соединить и раскачать стрелку одного из них, то, что произойдет с другой стрелкой? Почему? (*Она также будет раскачиваться, но в противофазе – направление отклонения стрелки второго гальванометру будет противоположно направлению отклонения стрелки первого.*)

V группа

1. В каком месте Земли магнитная стрелка обоими концами показывает на Юг? (*На Северном полюсе.*)

2. Почему подземный кабель, по которому подается переменный ток в жилые дома и на предприятия, не прокладывают вблизи газовых, водопроводных и теплофикационных труб? (*При высокой влажности вызывается окисление металла (обуславливается электролизом).*)

3. При электросварке применяются стабилизатор, катушка со стальным сердечником, включающаяся последовательно с дугой. Почему стабилизатор обеспечивает устойчивость горения дуги? (*Действие стабилизатора основано на явлении самоиндукции. При изменении тока в катушке возникает вихревое поле, которое препятствует изменению тока.*)

4. Эксперимент.

При замыкании цепи работает электрический звонок и горит неоновая лампа, а лампа накаливания не горит. Если исключить из цепи звонок, то загорается лампа накаливания, а неоновая лампа гаснет. Почему? (*Когда работает звонок, происходит замыкание и размыкание цепи. Вследствие возникновения при замыкании ЭДС самоиндукции, направленной против ЭДС генератора тока, и быстрого затем размыкания цепи, – волосок лампы накаливания не успе-*

вает разогреться. Возникающая при частом размыкании значительная по величине ЭДС самоиндукции поддерживает горение неоновой лампы. Если исключить звонок, то в цепи будет течь постоянный ток, – загорится лампа накаливания.)

III. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 16.

Р – 924; Р – 925.

Урок 21. Контрольная работа

Цель: проверка знаний и умений.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Проведение контрольной работы

I вариант

1. Самолет летит горизонтально со скоростью 1200 км/ч. Найдите разность потенциалов, возникающую на концах крыльев, если вертикальная составляющая индукции магнитного поля Земли равна $5 \cdot 10^{-5}$ Тл. Размах крыльев равен 40 м.

2. В катушке индуктивностью 0,08 Гн проходит ток силой 20 А. Определите ЭДС самоиндукции, которая возникает в катушке при исчезновении в ней тока за 0,002 с.

3. Катушка сопротивлением 100 Ом, состоящая из 1000 витков, внесена в однородное магнитное поле. Площадь поперечного сечения каждого витка равна 5 см^2. В течение некоторого времени индукция магнитного поля уменьшилась с 0,8 Тл до 0,3 Тл. Какой заряд индуцирован в проводнике за это время?

4. Какой заряд пройдет через поперечное сечение витка, сопротивлением 0,03 Ом, при уменьшении магнитного потока внутри витка на 12 мВб?

5. Из алюминиевой проволоки, площадь поперечного сечения которой равна 1 мм^2, сделано кольцо радиусом 10 мм. Перпендикулярно плоскости кольца за 0,01 с включают магнитное поле, у которого индукция равна 1 Тл. Найти среднее значение индукционного тока,

возникающего за это время в кольце. Удельное сопротивление алюминия равно $2,8 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.

6. В однородном магнитном поле, у которого индукция равна 0,8 Тл, проволочный виток расположен так, что его плоскость перпендикулярна магнитному полю. Площадь поперечного сечения проволочного витка равна 100 см^2. Виток замкнут на гальванометр. При повороте витка на угол 90° через гальванометр проходит заряд, равный 1 мКл. Найдите сопротивление витка.

II вариант

1. Определите индуктивность катушки, если известно, что сила тока в цепи за 0,02 с возрастает до максимума и равна 4 А, создавая при этом ЭДС самоиндукции 12 В.

2. Катушка, имеющая 100 витков, находится в магнитном поле, индукция которого уменьшилась от 8 Тл до 2 Тл в течение 0,4 с. Определите значение ЭДС индукции, если площадь поперечного сечения катушки равна 50 см^2, а плоскость витков перпендикулярна силовым линиями поля.

3. Проводник длиной 2 м и сопротивлением 0,02 Ом движется в магнитном поле со скоростью 6 м/с перпендикулярно силовым линиям поля. Чему равно значение силы тока, возникающего в проводнике, если его замкнуть накоротко? Индукция магнитного поля равна 10 мТл.

4. Катушка сопротивлением 50 Ом и индуктивностью 0,001 Гн находится в магнитном поле. При равномерном изменении магнитного поля поток магнитной индукции возрос на 0,001 Вб и сила тока в катушке увеличилась на 0,1 А. Какой заряд прошел за это время по катушке?

5. Рамка из проволоки сопротивлением 0,01 Ом равномерно вращается в однородном магнитном поле, у которого индукция равна 0,05 Тл. Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции. Площадь рамки – 100 см^2. Определите, какой заряд пройдет через рамку за время поворота ее на угол 30° (от 0° до 30°).

6. Проволочный виток, имеющий площадь поперечного сечения 100 см^2, разрезан в некоторой точке, и в разрез включен конденсатор емкостью 40 мкФ. Виток помещен в однородное магнитное поле, линии индукции которого, перпендикулярны плоскости витка. Ин-

дукция магнитного поля равномерно изменяется на 0,01 Тл за 1 с. Найдите заряд конденсатора.

Рекомендации к проверке:

Оценка «3» – за задачи № 1, 2;

Оценка «4» – за задачи № 1, 2, 3 или № 1, 2, 4;

Оценка «4» – за задачи № 3, 4, 5 или № 3, 4, 6.

Ученик сам выбирает задачи.

III. Подведение итогов работы

Домашнее задание

п. 17.

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Глава 3. Механические колебания

Урок 22. Динамика свободных колебаний

Цель: выяснить, от чего зависят свободные колебания пружинного маятника.

Оборудование: держатели на пружинах, штативы, секундомер или метроном, наборы грузов.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Изучение нового материала

Механические колебания – это движения, которые точно или приблизительно повторяются через определенный интервал времени.

Вынужденные колебания – это колебания, которые происходят под действием внешней, периодически изменяющейся силы. (Движение иглы швейной машинки.)

Свободные колебания – это колебания, которые происходят в системе под действием внутренних сил, после того как система была выведена из состояния равновесия. (Колебания маятника часов, качели.)

Эксперимент 1

Демонстрация колебательных систем

Пружинный маятник, колебание натянутой веревки, математический маятник, канонический маятник, движение жидкости в U-образной трубке.

Что общего у всех колебательных систем?

Условия возникновения механических колебаний:

1. Наличие положения устойчивого равновесия, при котором равнодействующая равна нулю.
2. Хотя бы одна сила должна зависеть от координат.
3. Наличие в колеблющейся материальной точке избыточной энергии.
4. Если тело вывести из положения равновесия, то равнодействующая не равна нулю.
5. Силы трения в системе малы.

Рассмотрим движение тележки массой m, прикрепленной к вертикальной стенке пружиной, жесткостью R.

При растяжении пружины на $x_0 = A$ (амплитуда) на тело начинает действовать сила упругости, которая стремится вернуть тело в положение равновесия, но дойдя до положения равновесия, в котором сила упругости равна нулю, тело начинает сжимать пружину. При сжатии пружины появляется возрастающая сила упругости, направленная к положению равновесия.

Демонстрация

На тележку прикрепили фломастер, под тележку положили кусок ватмана. Выведем тележку из положения равновесия, и одновременно будем двигать ватман на себя. Что же увидим?

Увидим линию, так как тележка движется, значит, изменяется координата. Линия будет выражать зависимость координаты от времени. На ватмане будет косинусоида.

Свободные колебания пружинного маятника являются гармоническими.

Зависимость координаты от времени можно записать:

$$x = A\cos\omega_0 t \text{ или } x = x_м \cos\omega_0 t .$$

A или $x_м$ – амплитуда – магнитное отклонение от положения равновесия.

Так как косинус изменяется от –1 до 1, то координата лежит в промежутке: $-A \le x \le A$.

Такой величиной может быть не обязательно координата, давление, сила тока и т. д.

ω_0 – циклическая частота.

Найдем период по II закону Ньютона:

$$ma_x = F_{упр} ;$$

$$F_{упр} = -k_x$$

$$-m\omega_0^2 A\cos\omega_0 t = -kA\cos\omega_0 t ;$$

$$m\omega_0^2 = k ;$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{K}{m}} \Rightarrow T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} .$$

Период определяется жесткостью пружины и массой, то есть собственными характеристиками колебательной системы.

Далее учащиеся открывают учебник на с. 173 и после прочтения темы «Энергия свободных колебаний» должны ответить на вопрос: Как полная механическая энергия гармонических колебаний зависит от их амплитуды?

III. Закрепление изученного материала

Фронтальный эксперимент:

1. Соберите пружинный маятник.
2. Измерьте его период.
3. Зная массу груза, рассчитайте жесткость пружины.
4. Полученный результат проверьте по закону Гука.

IV. Решение задач

Задача № 1

Координата колеблющегося тела изменяется по закону: $x = 5\cos\pi t$. Чему равна амплитуда, период и частота колебаний, если в формуле все величины выражены в единицах СИ?

Дано:	**Решение:**
$x = 5\cos\pi t$.	Сопоставим данный закон изменения координаты с законом гармонических колебаний.
A –? T – ? ν – ?	$x = A\cos\frac{2\pi}{T}\cdot t$; $x = 5\cos\pi t$.

Видно, что множитель А перед косинусом есть амплитуда колебаний, следовательно, амплитуда колебаний тела равна 5 м, так как в данном законе этот множитель равен 5.

Множитель перед временем t под знаком косинуса в обеих формулах одинаков, поскольку данное движение тела является также гармоническим колебанием.

Поэтому $\frac{2\pi}{T} = t$, откуда $\mathrm{T} = \frac{2\pi}{\Pi} = 2\,\text{с}$. Частоту колебаний найдем по формуле: $\nu = \frac{1}{T} \Rightarrow \nu = \frac{1}{2} = 0{,}5\,\text{Гц}$.

(*Ответ:* А = 5 м; Т = 2с; ν = 0,5 Гц.)

Задача № 2

Уравнение движения гармонического колебания имеет вид $x = 0{,}02\cos\frac{\pi}{2}\cdot t$. Найти координаты тела через 0,5 с; 2 с. Все величины в формуле выражены в единицах СИ.

Дано:	**Решение:**
$x = 0{,}02\cos\frac{\pi}{2}\cdot t$.	$x_1 = 0{,}02\cos\frac{\pi}{2}\cdot t$, тогда при t_1 – 0,5 с:
x_1 – ? x_2 – ?	$x_1 = 0{,}02\cos\frac{\pi}{2}\cdot 0{,}5 = 0{,}02\cos\frac{\pi}{2}\cdot\frac{1}{2} = 0{,}02\cos\frac{\pi}{4}$,

$$\cos\frac{\pi}{4} = \cos 45° = \frac{\sqrt{2}}{2} \approx 0,7.$$

Тогда $x_1 = 0,02 \cdot 0,7 = 0,014$ м = 1,4 см; x_2 при $t_2 = 2$ с:

$$x_2 = 0,02\cos\frac{\pi}{2}\cdot 2 = 0,02\cos\pi = 0,02\cdot(-1) = -0,02 \text{ м}.$$

(*Ответ:* $x_1 = 1,4$ см; $x_2 = -2$ см.)

Задача № 3

Напишите закон гармонического колебания груза на пружине, если амплитуда колебаний 80 см, а частота колебаний 0,5 Гц.

Дано:	**Решение:**
A = 80 см = 0,8 м $\nu = 0,5$ Гц	$x = A\cos\frac{2\pi}{T}\cdot t$.
$x(t)$ – ?	

1 способ:

$$T = \frac{1}{\nu}, \text{ т.е. } T = \frac{1}{0,5} = \frac{10}{5} = 2 \text{ с}.$$

$$x = 0,8\cos\frac{2\pi}{2}\cdot t \text{ или } x = 0,8\cos\pi\cdot t.$$

2 способ:

$$T = \frac{1}{\nu}, \text{ то } x = A\cos\frac{2\pi}{\frac{1}{\nu}}\cdot t = A\cos 2\pi\nu t;$$

$$x = 0,8\cos 2\pi\cdot 0,5t \text{ или } x = 0,8\cos\pi\cdot t.$$

(*Ответ:* $x = 0,8\cos\pi\cdot t$.)

Задача № 4

Пользуясь графиком изменения координаты колеблющегося тела от времени, определить амплитуду, период и частоту колебаний. Записать уравнение зависимости $x(t)$ и найти координату тела через 0,1 с и 0,2 с после начала отсчета времени.

(*Ответ:* A = 0,3 см; T = 1,6 с; $\nu = 0,625$ Гц; $\nu = 0,625$;
x(t) = 0,3 cos 1,25 πt; $x_1 \approx 0,28$ м, $x_2 \approx 0,21$ м.)

V. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 18–19, 20, 21.

Урок 23. Решение задач по теме «Механические колебания»

Цели: развитие навыков самостоятельной работы; отработка методов решения задач.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Решение задач

Задачи на «3» балла

1. Груз, подвешенный к пружине, совершает 10 колебаний в минуту. Определите период колебаний, частоту и жесткость пружины, если масса груза – 0,6 кг. (*Ответ*: 6 с; 0,17 Гк; 0,67 Н/м.)

2. Как относятся длины маятников, если за одно и то же время первый маятник совершил 30 колебаний, а второй – 15 колебаний? (*Ответ*: 4:1.)

3. Математический маятник длиной 98 см совершает за 2 минуты 60 полных колебаний. Определите частоту, период колебаний и ускорения свободного падения в том месте, где находится маятник. (*Ответ*: 2 с; 0,5 Гц; 9,7 м/с^2.)

4. Как относятся массы двух пружинных маятников, колеблющихся на одинаковых пружинах, если за одно и то же время первый совершил 10 колебаний, а второй – 40 колебаний? (*Ответ:* 16:1.)

Задачи на «4» балла

1. Один маятник имеет период 5 с, другой 3 с. Каков период колебаний математического маятника, длина которого равна разности длин указанных маятников? (*Ответ*: 4 с.)

2. Часы с маятником длиной 0,5 м за сутки отстают на 30 мин. Что надо сделать с маятником, чтобы часы не отставали? (*Ответ*: Уменьшить длину на 2,1 см.)

3. Часы с маятником длиной 1 м за сутки спешат на 1 час. Что надо сделать с маятником, чтобы часы не спешили? (*Ответ*: Увеличить длину на 8,4 см.)

4. Как изменится период колебаний математического маятника при перенесении его с Земли на Марс? Масса Земли в 9 раз больше массы Марса, а радиус Земли в 1,9 раза больше радиуса Марса. (*Ответ:* Увеличится в 1,6 раза.)

Задачи на «5» баллов

1. Как изменится период колебаний маятника при перенесении его с Земли на Луну? Масса Луны в 81 раз меньше массы Земли, а

радиус Земли в 3,7 раза больше радиуса Луны. (*Ответ*: Уменьшится на 2,1 см.)

2. С каким ускорением и в каком направлении должна двигаться кабина, чтобы находящийся в ней секундный маятник за время 2 мин 30 с совершил 100 колебаний? (*Ответ*: 5,4 с.; движение вниз.)

3. На какую часть надо уменьшить длину математического маятника, чтобы период колебаний маятника на высоте 10 км был равен периоду его колебаний на поверхности Земли? Радиус Земли 6400 км. (Ответ: 0,0031.)

4. Из двух математических маятников один совершил 10 колебаний, а другой за то же время 6 колебаний. Найти длину каждого маятника, если сумма их длин равна 42,5 см. (*Ответ:* 11, 25 см; 31,25 см.)

Задачи повышенной трудности

1. Пружинный маятник совершает косинусоидальные колебания после того, как его вывели из положения устойчивого равновесия. Через сколько времени в долях периода кинетическая энергия сравняется с потенциальной? (*Ответ*: t = 1/7 T.)

2. Пружинный маятник совершает синусоидальные колебания после того, как его вывели из положения устойчивого равновесия. Определите соотношение между кинетической энергией и потенциальной энергией маятника через 1/8 периода после начала колебаний. (*Ответ:* 1:1.)

III. Подведение итогов урока

Домашнее задание

Р – 411, Р – 412, Р – 413, Р – 414.

Урок 24. Вынужденные колебания. Резонанс

Цель: сформулировать понятие «резонанс»; отрицательные воздействия резонанса.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Проверка домашнего задания, повторение

- Приведите примеры затухающих колебаний.
- Дайте определение затухающим колебаниям.
- Приведите примеры апериодического движения.
- При каком условии возникают апериодические движения?
- Что такое статическое смещение?

III. Изучение нового материала

Наряду со свободными колебаниями, происходящими под действием внутренних сил, в системе возможны колебания, вызванные периодической внешней силой.

Вынужденные колебания происходят под действием внешней периодической силы.

Пустое тело совершает под действием периодической силы:

$$F_x = F_0 \cos \omega t;$$

$$Q = \frac{F_x}{m} = \frac{F_0}{m} \cdot \cos \omega t;$$

$\frac{F_0}{m} = a_0$ – амплитуда ускорения тела.

Координата изменяется по закону $x = A \cos \omega t$.

Для гармонических колебаний $A = \frac{a_0}{\omega_m^2}$, $A = \frac{a_0}{\omega_m^2}$.

Найдем амплитуду вынужденных колебаний пружинного маятника по II закону Ньютона:

$$ma_x = k_x + F_0 \cos \omega t;$$

$$a_x = -\omega^2 A \cos \omega t;$$

$$-m\omega^2 A \cos \omega t = -kA \cos \omega t + F_0 \cos \omega t;$$

$$k = m\omega_0^2;$$

$$A = \left| \frac{F_0}{m\left(\omega_0^2 - \omega^2\right)} \right|.$$

Из этого следует, что амплитуда колебаний зависит от частоты вынуждающей силы.

Если частота вынуждающей силы меньше частоты собственных колебаний $\omega < \omega_0$, то при увеличении частоты ω разность $\left(\omega_0^2 - \omega^2\right)$ уменьшается.

При частоте $\omega < \omega_0$ амплитуда вынужденных колебаний увеличивается с ростом частоты.

При $\omega >> \omega_0$ $A \approx \frac{F_0}{m\omega^2}$.

Амплитуда вынужденных колебаний обратно пропорциональна квадрату частоты ω, амплитуда вынужденных колебаний убывает с ростом частоты.

Демонстрация резонанса маятников

Если частота вынуждающих сил приблизительно равна частоте собственных колебаний, то знаменатель стремится к нулю. В этом случае амплитуда колебаний резко возрастает.

Резонанс – резкое возрастание амплитуды вынужденных колебаний при совпадении частоты внешней силы с частотой собственных колебаний системы.

При резонансе внешняя сила действует синхронно со свободными колебаниями системы.

Многие физические объекты, обладая определенной упругостью, могут совершать собственные колебания. Поэтому внешнее периодическое воздействие на них может оказаться резонансным. Изучение явления резонанса позволяет избежать отрицательных последствий этих воздействий, и использовать энергетические ресурсы резонансных процессов.

Хорошо известно, что для прекращения расплескивания воды в ведре необходимо изменить темп ходьбы. При этом изменяется частота внешней силы.

При землетрясениях разрушаются здания одинаковой высоты, так как их собственная частота колебаний определяется высотой и совпадет с частотой колебания почвы.

Явление резонанса позволяет с помощью сравнительно малой силы получить значительное увеличение амплитуды колебаний. (Используется в горнодобывающей промышленности.)

IV. Закрепление изученного материала

- Что называется резонансом?
- Каково условие резонанса?
- Начертите резонансные кривые.
- Приведите примеры вредного и полезного проявления резонанса.

V. Проведение лабораторной работы

Лабораторная работа по теме
«Определение скорости звука при помощи резонансной трубы»

Прибор, применяемый в этой работе, показан на рис. 22.

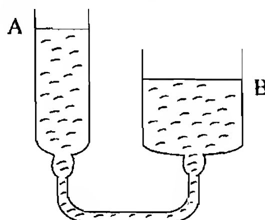


Рис. 22

Резонансная труба представляет собой длинную узкую трубу *А*, соединенную с резервуаром *В* через резиновый патрубок. В обеих трубах находится вода. Когда *В* поднят, длина воздушного столба в *А* уменьшается, а когда *В* опускается, длина столба воздуха в *А* увеличивается. Поместите колеблющийся камертон сверху *А*, когда длина столба воздуха в *А* практически равна нулю. Вы не услышите никакого звука. По мере увеличения длины столба воздуха в *А* вы услышите, как звук усиливается, достигает максимума, а затем начинает затихать. Повторите эту процедуру, регулируя *В* таким образом, чтобы длина воздушного столба в *А* давала максимальный по силе звук. Затем замерьте длину J_1 столба воздуха.

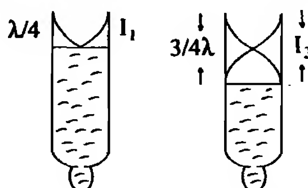


Рис. 23

Громкий звук слышен потому, что собственная частота столба воздуха длиной J_1 равна собственной частоте камертона, и поэтому воздушный столб колеблется в унисон с ним. Вы нашли первое положение резонанса. Фактически длина колеблющегося воздуха несколько больше столба воздуха в *А*.

Итак, $\frac{1}{4}\lambda = J_1 rl$.

Длина *l* – это дополнительная длина, которая должна быть добавлена к длине столба воздуха J_1, чтобы получить более точную длину колеблющегося воздуха. Эта поправка называется краевой коррекцией.

Если вы опустите *В* еще ниже, так чтобы длина воздушного столба увеличилась, то найдете другое положение, в котором звук достигает максимальной силы. Точно определите это положение и измерьте J_2 длину столба воздуха. Это – второе положение резонанса. Как и прежде, вершина находится на открытом конце трубы, а узел – на поверхности воды. Это может быть достигнуто только в случае, когда длина столба воздуха в трубе приблизительно составляет $\frac{3}{4}$ длины волны $\left(\frac{3}{4}\lambda\right)$. Кривая коррекция остается такой же, как и прежде, поэтому $\frac{3}{4}\lambda = J_2 tl$.

Вычитание двух замеров дает:

$$\frac{3}{4}\lambda-\frac{1}{4}\lambda=J_2+l-(J_1+l);$$

$$\frac{1}{2}\lambda=J_2-J_1$$ и поправка сокращается.

Итак,

$$C=f\lambda=f\cdot 2(J_2-J_1),$$

где f – частота камертона. Это быстрый и достаточно точный способ определения скорости звука в воздухе.

VI. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 22.

Р – 414; Р – 415.

Урок 25. Колебательная система под действием внешних сил

Цель: дать характеристику свободных колебаний.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Проверка домашнего задания, вопросы для повторения

- Приведите примеры вынужденных колебаний.
- Какие колебания называются вынужденными?
- Что такое период?
- Что такое амплитуда?
- От чего зависит период пружинного маятника?
- Как зависит полная механическая энергия от амплитуды?

III. Изучение нового материала

1. Демонстрация. Математический маятник. Пружинный маятник.

- Что мы видим с течением времени? (*Уменьшение амплитуды. Колебания становятся затухающими. Затухающие колебания – колебания, амплитуда которых уменьшается с течением времени.*)
- Почему уменьшается амплитуда? (*Механическое движение сопровождается трением. Амплитуда направлена в противоположную сторону перемещения маятника, совершает отрицательную работу. При увеличении трения сопротив-*

ление движению оказывается столь значительным, что выведенный из положения маятник, теряя энергию, может не пройти положение равновесия. Подобное движение называется ***апериодичным*** *(применяется в специальном устройстве для гашения колебаний кузова автомобиля – амортизаторе).)*

Пусть на пружинный маятник действует сила $\vec{F}_0$ постоянная, направленная вдоль оси X. При растяжении пружины сила упругости компенсирует эту силу:

$$F_{упр} = k_{x_0} = F_0;$$

$$x_0 = \frac{F_0}{R}.$$

Статическое смещение – изменение положения равновесия колебательной системы под действием постоянной силы:

$$\omega = \sqrt{\frac{\omega^2}{m}};$$

$$x_0 = \frac{F_0}{m\omega_0^2}.$$

Измеряя статическое смещение пружины с известной жесткостью, можно определить массу тела, подвешенного на пружине.

2. Проведение лабораторной работы.

Лабораторная работа по теме «Изучение свободных колебаний»

Цель: исследование влияния силы трения и амплитуды на период свободных колебаний.

Оборудование: прочная нить, небольшой грузик, часы.

Ход работы

Подвесьте груз на двух нитях длиной около метра. Отклоните нить от вертикали на угол приблизительно 20–30°.

Определите число колебаний и время, за которое амплитуда уменьшится в некоторое число раз, например, в 2 раза.

Повторите эксперимент, отклонив первоначально маятник на расстояние X_{max}, и снова определите число колебаний и время уменьшения амплитуды в 2 раза, то есть до величины $\frac{x_{max}}{4}$.

Результаты измерений запишите в таблицу:

Удалось ли вам обнаружить зависимость времени одного колебания от амплитуды?

Укрепите на двух нитях с помощью скрепок лист бумаги площадью 1–2 дм^2. Проделайте аналогичную серию опытов.

Удалось ли вам обнаружить во второй серии опытов зависимость времени одного колебания от амплитуды?

Удалось ли вам обнаружить влияние сопротивления на время одного колебания?

Опыты, аналогичные тем, которые вы провели, и теоретический анализ свободных колебаний показывают следующее:

а) Время одного колебания при достаточно малых амплитудах не зависит от амплитуды.

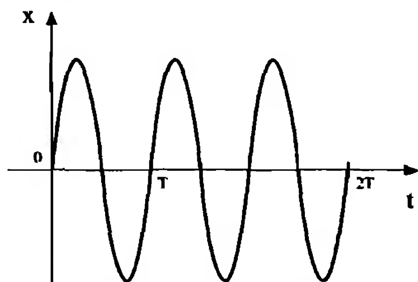


Рис. 24

Это время называется ***условным периодом***. (Слово «условный» используется для того, чтобы подчеркнуть, что через время T тело не возвращается в прежнее состояние.)

б) Степень затухания характеризуется величиной τ («тау»), которая называется ***временем релаксации***.

Время релаксации τ – время, за которое амплитуда колебаний убывает в $e = 2{,}7$ раз.

в) Время релаксации позволяет определить коэффициент сопротивления β в формуле для силы сопротивления.

$$F_{сопр} = -\beta \upsilon.$$

Именно $\beta = \dfrac{2m}{\tau}$, где m – масса колеблющегося тела.

IV. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 22, 23, 24.

Урок 26. Лабораторная работа по теме «Измерение ускорения свободного падения с помощью маятника»

Цель: вычислить ускорение свободного падения с помощью формулы для периода колебаний математического маятника.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}. \qquad (1)$$

Для этого необходимо измерить период колебания и длину подвеса маятника. Тогда из формулы (1) можно вычислить ускорение свободного падения:

$$g = \frac{4\pi^2}{T^2}\cdot l. \qquad (2)$$

Средства измерения: часы с секундной стрелкой; измерительная лента ($\Delta x = 0,5$ см).

Материалы: шарик с отверстием; нить; штатив с муфтой и кольцом.

Ход работы

1. Установите на краю стола штатив. У его верхнего кольца укрепите при помощи муфты кольцо и подвесьте к нему шарик на нити. Шарик должен висеть на расстоянии 3–5 см от стола.
2. Отклоните шарик на 5–8 см от положения равновесия и отпустите его.
3. Измерьте длину подвеса мерной лентой.
4. Измерьте время Δt 40 полных колебаний (N).
5. Повторите измерения Δt (не изменяя условий опыта) и найдите среднее значение ($\Delta t_{ср}$).
6. Вычислите среднее значение периода колебаний $T_{ср}$ по среднему значению $\Delta t_{ср}$.
7. Вычислите значение $g_{ср}$ по формуле:

$$g_{ср} = \frac{4\pi^2}{T_{ср}^2}\cdot l. \qquad (3)$$

8. Полученные результаты запишите в таблицу:

№ опыта	l, м	N	Δt, с	$\Delta t_{ср}$, с	$T_{ср} = \frac{\Delta\tau_{ср}}{N}$	$g_{ср} = 9,8$ м/с^2

9. Сравните полученное среднее значение для $g_{ср}$ со значением $g = 9{,}8$ м/с^2. Просчитайте его относительную погрешность изменений по формуле:

$$\varepsilon_g = \frac{|g_{cp} - g|}{g}.$$

Домашнее задание

Повторить п. 18–26.

Урок 27. Решение задач по теме «Механические колебания»

Цели: развитие навыков самостоятельной работы; отработка методов решения задач.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Решение задач

Задачи на «3» балла

1. Математический маятник совершает 100 колебаний за 314 с. Определить период колебаний маятника, частоту колебаний и длину нити маятника. (*Ответ*: 3,1 с; 0,32 Гц; 2,5 м.)

2. Во сколько раз уменьшится период колебаний пружинного маятника, если вместо груза массой 400 г к той же пружине подвесить груз массой 1,6 кг? (*Ответ*: В 2 раза.)

3. Груз, подвешенный к пружине, совершает 30 колебаний в минуту. Определить период колебаний, частоту и массу груза, если жесткость пружины 24 м. (*Ответ*: 2 с; 0,5 Гц; 0,2 кг.)

4. Найти отношение периодов двух математических маятников, если длина ними одного маятника 1,44 м, а другого – 0,64 м. (*Ответ*: 1,5.)

Задачи на «4» балла

1. Тело, прикрепленное к пружине, совершает колебания с некоторым периодом *T*. Если увеличить массу тела на 60 г, то период колебаний удваивается. Какова первоначальная масса тела? (*Ответ*: 20 г.)

2. Маятниковые часы идут правильно при длине маятника 55,8 см. На сколько отстанут часы за сутки, если удлинить маятник на 0,5 см? Маятник считать математическим. (*Ответ*: 6,4 мин.)

3. Тело, прикрепленное к пружине, совершает колебания с некоторым периодом. Если уменьшить массу груза на 30 г, то период колебаний уменьшится в 2 раза. Найти первоначальную массу груза. (*Ответ*: 40 г.)

4. На какой угол от вертикали надо отклонить математический маятник длиной 2 м, чтобы груз маятника прошел положение равновесия со скоростью 0,6 м/с? (*Ответ*: 8° (5°).)

Задачи на «5» баллов

1. За одно и то же время один математический маятник делает 40 колебаний, а второй – 30. Какова длина каждого маятника, если разность их длин 7 см? (*Ответ*: 9 см; 16 см.)

2. Часы с секундным маятником на поверхности Земли идут точно. На сколько часы будут отставать за сутки, если их поднять на высоту 5 км над поверхностью Земли? Радиус Земли 6400 км. (*Ответ*: 67,5 с.)

3. За одно и то же время один пружинный маятник делает 10 колебаний, а второй – на пружине с той же жесткостью – 20 колебаний. Определите массы этих маятников, если сумма их масс равна 3 кг. (*Ответ*: 2,4 кг; 06 кг.)

4. Во сколько раз период колебаний математического маятника на некоторой планете больше, чем на Земле, если радиус планеты вдвое меньше радиуса Земли, а плотности одинаковы? (*Ответ*: в 1,41 раза.)

Задачи повышенной трудности

1. Как изменится период вертикальных колебаний груза, висящего на двух одинаковых пружинах, если их последовательное соединение заменить параллельным? (*Ответ*: $T_1 : T_2 = 2$.)

2. Цилиндрический брус находится в вертикальном положении на границе раздела двух жидкостей и делится этой границей на две равные части. Длина бруска l, плотность нижней жидкости ρ_1, верхней – ρ_2. Найти период малых вертикальных колебаний бруска без учета сил трения. (*Ответ*: $T = 2\pi\sqrt{\frac{(\rho_1+\rho_2)\cdot l}{(\rho_1-\rho_2)\cdot 2g}}$ для $\rho_1 > \rho_2$.)

III. Подведение итогов урока

Домашнее задание

Р – 419; Р – 420; Р – 421.

Урок 28. Решение экспериментальных задач

Цель: научиться использовать теоретические знания на практике.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Решение задач

Первая группа

Задание № 1

Сделать два маятника приблизительно одного размера: один – из картофелины, другой – из бумажного шарика.

Подвесьте их на нитях одинаковой длины. Отклоните их на одинаковый угол от положения равновесия. Подсчитайте их периоды. Сравните полученные значения. Сделайте вывод, от чего может зависеть период колебаний такого маятника. Одновременно ли прекратятся колебания. Почему? Объясните полученные результаты.

Вторая группа

Задание № 2

Изготовьте математический маятник из подручных средств. Приведите его в движение, подсчитайте частоту колебаний. Измерьте длину маятника, так чтобы частота увеличилась вдвое. Проверьте правильность своего расчета на опыте. Сделайте вывод о том, как меняется частота математического маятника в зависимости от его длины.

Третья группа

Задание № 3

Подвесьте наручные механические часы на прочной веревке. Если к часам не прикасаться, то через некоторое время они все равно придут в слабое движение. Проверьте, так ли это. Почему? Приведите часы в колебательное движение, так чтобы они сделали не меньше 50 колебаний. Как отразилось такое движение на точности хода этих часов. Почему? Можно ли установить, когда часы начинают спешить, а когда отставать?

Четвертая группа

Задание № 4

Изготовьте математический маятник. Измерьте период его коле-

баний. Измерьте время, за которое колебания затухнут. Опустите маятник в воду и снова измерьте период его колебаний и время затухания. Сравните результаты. Сделайте вывод о влиянии окружающей среды на колебательное движение.

Пятая группа

Задание № 5

Как и почему меняется период колебания стального шарика, если под ним установить электромагнит? Зазор между сердечником электромагнита и шарика должно быть 3–10 мм. Шарик будет заметно притягиваться к электромагниту, поэтому его ускорение около магнита возрастет. Период шарика уменьшится. Проверьте экспериментально.

III. Подведение итогов работы

Домашнее задание

Р – 425; Р – 426; Р – 427.

Глава 4. Электромагнитные колебания

Урок 29. Колебательный контур

Цель: рассмотреть незатухающие электрические колебания.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Анализ экспериментов

Объясните:

Эксперимент № 1

Две одинаковые по напряжению и мощности лампы (U = 220 В, Р = 60 Вт) включают последовательно с разными конденсаторами в отдельные цепи переменного тока. Лампы горят с разным накалом. (*Конденсатор большой емкости включен с лампой, которая горит ярче.*)

Эксперимент № 2

Неоновую лампу на 127 В или 220 В включите в сеть переменного тока соответствующего напряжения. Посмотрите на горящую неподвижную лампу в темноте. Видим непрерывное свечение. Приве-

дем ее во вращение движения с радиусом 25–50 см. При движении лампы наблюдается не сплошной светящийся круг, а прерывистый. Почему? (*Неоновая лампа светится прерывисто, совершая 100 вспышек за 1 с. Это обусловлено колебаниями напряжения в сети. Зрительное впечатление сохраняется в течение 0,1 с. Промежутки времени, соответствующие затуханиям лампы, измеряются сотыми долями секунды. Впечатление от вспышек неоновой лампы не успевает исчезать, мы видим непрерывное горение (лампа в покое). При движении по окружности моменты, соответствующие вспышкам и затуханиям лампы, разделены в пространстве.*)

III. Изучение нового материала

Электрическая цепь, состоящая из катушки и конденсатора, называется колебательным контуром.

Зарядим конденсатор, при этом конденсатору сообщим энергию:

$$W_э = \frac{q^2}{2C}.$$

Конденсатор начнет разряжаться, в цепи появится электрический ток. Вследствие самоиндукции сила тока увеличивается постоянно. При этом уменьшается энергия электрического поля и возрастает энергия магнитного поля:

$$W_м = \frac{LI^2}{2}.$$

В момент, когда конденсатор полностью разрядился ($q = 0$), энергия электрического поля равна нулю. Энергия магнитного поля максимальна. Сила тока достигает максимального значения $I_м$.

Несмотря на то, что к этому моменту разность потенциалов на концах катушки станет равной нулю, ток не прекращается сразу. Этому препятствует самоиндукция. Как только сила тока и созданное током магнитное поле начнет уменьшаться, возникает вихревое электрическое поле, которое направлено по току и поддерживает его, конденсатор начнет перезаряжаться.

Он перезаряжается до тех пор, пока сила тока, постепенно уменьшаясь, не станет равна нулю. $W_м = 0$, а $W_э$ станет максимальным.

Далее процесс протекает в обратном направлении и конденсатор опять перезаряжается. Если бы не было потерь энергии, процесс продолжился бы сколь угодно долго. Но катушка имеет сопротивление и это ведет к выделению теплоты.

Период свободных колебаний записывается:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}.$$

IV. Закрепление изученного

- Что называется колебаниями контура?
- Нарисуйте схему колебательного контура и объясните все стадии процесса превращения энергии при свободных электрических колебаниях в течение периода колебаний.
- По какой формуле определяется собственная циклическая частота свободных электрических колебаний.
- Запишите формулу Томсона.

V. Решение задач

1. Емкость переменного конденсатора контура приемника изменяется от C_1 до $C_2 = 9C_1$. Определите диапазон волн контура приемника, если емкость C_1 конденсатора соответствует длине волны, равной 3 м. (*Ответ:* от $\lambda_1 = 3$ м до $\lambda_2 = 9$ м.)

2. Диапазон каких радиоволн может принимать радиоприемник, если емкость конденсатора его колебательного контура изменяется от 30 нФ до 300 нФ, а индуктивность катушки – от 40 мкГн до 100 мкГн. (*Ответ:* 0,92 МГц $\leq \nu \leq$ 4,6 МГц.)

3. Электроемкость конденсатора переменной емкости в контуре радиоприемника может изменяться от 50 нФ до 250 нФ. Индуктивность катушки остается неизменной и равно 0,6 мГн. На каких волнах работает радиоприемник? (*Ответ:* 326 м $\leq \lambda \leq$ 980 м.)

4. Определите электроемкость конденсатора, включенного в колебательный контур, индуктивность которого 1,5 мГн, если он излучает электромагнитные волны длинной 500 м. (*Ответ:* С = 1400 нФ.)

VI. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 21–30.

Урок 30. Переменный электрический ток

Цель: дать понятие переменного тока.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Анализ контрольной работы

III. Изучение нового материала

Переменный ток в обычной квартире, применяемый на заводах и фабриках представляет собой вынужденные электрические колебания. Эти колебания легко обнаружить с помощью осциллографа.

Тогда временная развертка будет представлять собой синусоиду. Частота колебаний напряжения в цепи равна 50 Гц. На протяжении 1 с ток в 50 раз поменяет свое направление.

$$\varepsilon = BS\Phi \sin(\omega t + P_0),$$

где ε – мгновенное значение ЭДС; $BS\omega$ – амплитуда ЭДС.

$$\varepsilon_m = BS\omega.$$

$$\varepsilon_m = \varepsilon_m \sin(\omega t + l_0).$$

l_0 – начальная фаза.

$$\Delta l = l_2 - l_1.$$

Если $\Delta l = 0,2$ п, 3 п, 5 п и т. д., говорят соответственно о колебаниях в противофазе, максимум одних колебаний приходится на минимум других.

Если $\Delta l = 0,2$ п, 4 п и т. д., колебания происходят в одной фазе, они одновременно будут достигать максимума и одновременно будут проходить через ноль.

Колебания силы тока и напряжения в цепи с переменным током не совпадают по фазе:

$$I = I_m \sin \omega t;$$

$$U = U_m \sin(\omega t + \Delta l),$$

так как сила тока и напряжение непрерывно меняются, тогда

$$P = I \cdot U = I_m \cdot U_m \sin \omega t \cdot \sin(\omega t + \Delta l).$$

Эта мощность в некоторые моменты времени называется положительной, а в некоторый момент – отрицательной (электрическая цепь не потребляет энергии, а наоборот – отдает запасенную энергию обратно генератору).

$$\sin(\omega t + \Delta l)\sin \omega t = \frac{1}{2}\cos \Delta l - \frac{1}{2}\cos(2\omega t + \Delta l);$$

$$\frac{1}{2}\cos \Delta l = \text{const}.$$

$$\overline{P} = \frac{U_m I_m}{2}\cos \Delta l; \; 2 = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2}.$$

$$\overline{P} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{U_m}{\sqrt{2}}\cos \Delta l;$$

$$\overline{P} = I_m \cdot U_\Delta \cos \Delta l.$$

$I_\Delta = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$; $U_\Delta = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$ – действующие или эффективные значен

силы тока.

IV. Вопросы для закрепления

- Что называется действующим значением переменного тока?
- Какие значения силы переменного тока называют мгновенными? Амплитудными?
- Какие формулы выражают связь действующих значений ЭДС, напряжения и силы переменного тока с их амплитудными значениями?
- Начертите график переменного тока и раскройте суть определения переменного тока.

V. Решение задач

1. Рамка, по которой проходит ток, равномерно вращается в однородном магнитном поле, индукция которого – 4 мТл, с частотой 20 $с^{-1}$. Площадь рамки – 20 $см^2$. Ось вращения рамки лежит в ее плоскости и перпендикулярна вектору индукции поля. Найти максимальный магнитный поток сквозь плоскость рамки и ЭДС индукции, возникающей в рамке при ее вращении. Написать уравнение l(t). (*Ответ:* $I = 10^{-3}\sin 40\pi t$; $Ф_m = 8$ мкВб; $\varepsilon_m = 10^{-3}$ В.)

2. Напряжение на концах участка цепи, по которому течет переменный ток, изменяется с течением времени по закону $U = U_m \cdot \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right)$. В момент времени $t = \frac{T}{12}$ мгновенное значение равно 10 В. Найти амплитуду напряжения. (*Ответ:* $U_m = 11{,}5$ В.)

3. Электродвижущая сила в цепи переменного тока выражается: $\varepsilon = 120 \cdot \sin 28t$, где t – выражено в секундах; ЭДС – в вольтах. Определите действующее значение ЭДС и период ее изменения. (*Ответ:* Т = 0,01 с; ε = 85 В.)

4. Значение семьи тока, измеренное в амперах, задано уравнением $I = 8{,}5 \cdot \sin(314t + 0{,}651)$. Определить действующее значение тока, его начальную фазу и частоту. Найти ток при $t_1 = 0{,}08$ с. (*Ответ:* $I = 6$ А; ν = 50 Гц; $P_0 = 0{,}651$; i = 5,1 А.)

VI. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 91.

Р – 951; Р – 952.

Урок 31. Сопротивление в цепи переменного тока

Цель: рассмотреть цепь переменного тока с резистором, конденсатором и катушкой индуктивности.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение изученного

- Какие колебания называются гармоническими?
- Что такое электромагнитные колебания?
- Какой ток называют переменным?
- Что такое фаза колебаний?
- Как находится средняя мощность переменного тока?
- Какие величины называются действующими значениями силы тока и направления?
- С какой частотой меняется переменное напряжение в сети с напряжением 220 В?

III. Проведенне самостоятельной работы

I вариант

1. Какой ток называется переменным?
   А. Ток, у которого периодически изменяется только числовое значение.
   Б. Ток, у которого периодически изменяются величина и направление.
   В. Ток, у которого изменяется только направление.
2. От каких величин зависит максимальная ЭДС генератора?
   А. Только от числа оборотов в единицу времени.
   Б. От числа витков обмотки, числа оборотов в единицу времени и величины площади витка магнитного поля.
   В. Только от числа оборотов в единицу времени и числа витков обмотки.
3. От чего зависит частота генерируемого тока?
   А. Только от числа оборотов в единицу времени.
   Б. Только от числа пар магнитных полюсов.
   В. От числа оборотов в единицу времени и пар магнитных полюсов.

4. Рамка вращается в магнитном поле, причем $\varepsilon_m = 4$ В. Какова ЭДС в рамке через 1 Т, если при t = 0 нормаль к плоскости рамки параллельна линиям индукции поля.

А. $l = 0$.
Б. $l = 4$ В.
В. $l = -2$В.

5. Изменение ЭДС в рамке, которая вращается в магнитном поле, задано уравнением:

А. $\varepsilon_m = 10$ В; $\nu = \dfrac{100}{\pi}$ Гц.

Б. $\varepsilon_m = 10$ В; $\nu = 100$ Гц.

В. $\varepsilon_m = 10$ В; $\nu = 200$ Гц.

6. Как изменится ЭДС генератора, если число оборотов ротора увеличить в 2 раза?

А. Увеличится в 4 раза.

Б. Уменьшится в 2 раза.

В. Увеличится в 2 раза.

Г. Не изменится.

(*Ответы:* 1) Б; 2) Б; 3) В; 4) Б; 5) А; 6) В.)

II вариант

1. Какое явление было использовано при устройстве генератора переменного тока?

А. Вращение рамки в магнитном поле.

Б. Явление электромагнитной индукции.

В. Правило Ленца.

2. Изменение ЭДС в зависимости от времени для рамки, вращающейся в магнитном поле, задано уравнением $\varepsilon = 200 \cdot \cos 100\pi t$. Каковы значения амплитуды и циклической частоты вращения рамки?

А. $\varepsilon_m = 200$ В; $\omega = 100$ Гц.

Б. $\varepsilon_m = 200$ В; $\omega = 200$ Гц.

В. $\varepsilon_m = 200$ В; $\omega = 100\pi$ Гц.

3. Каково число витков в рамке площадью 1 $м^2$, вращающейся в однородном магнитном поле с частотой $\nu = 0{,}5$ Гц? Индукция магнитного поля равна 1 Тл. Магнитная ЭДС в рамке – 3,14 В.

А. 1 виток.

Б. 2 витка.

В. 4 витка.

4. Определить частоту тока по графику (см. рис. 25):

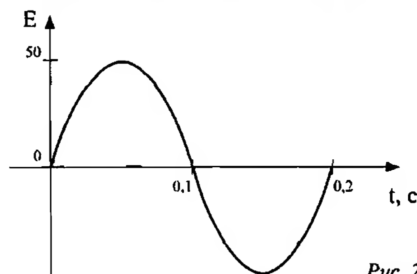


Рис. 25

А. 5 Гц.
Б. 50 Гц.
В. 100 Гц.

5. Амплитудное значение ЭДС индукции во вращающейся рамке равно:

А. $BS\cos l$.
Б. $BS\omega$.
В. $-\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$.
Г. $\varepsilon_m \sin\omega t$.

6. В больших промышленных генераторах ЭДС находится в:

А. Статоре.
Б. Роторе.
В. Роторе и статоре.

(*Ответы:* 1) Б; 2) Б; 3) А; 4) А; 5) Б; 6) А.)

IV. Изучение нового материала

1. Соберем цепь (см. рис. 26):

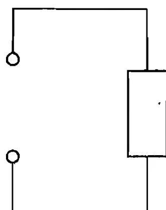


Рис. 26

Электрические устройства, преобразующие электрическую энергию во внутреннюю, называются активными сопротивлениями (провода, спирали нагревательных приборов, резисторы).

$$U = U_m \sin\omega t$$

$$R = S\frac{l}{S}.$$

$$U = U_m \sin\omega t\,;$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U_m}{\mathrm{R}}\sin\omega t = I_m \sin\omega t\,.$$

Колебания силы тока и напряжения на резисторе происходят в одной фазе.

$$I_\Delta = \frac{U_\Delta}{R};$$

$$\overline{P} = I_{\Delta}^2 R\ ;$$

$$R = \frac{\overline{P}}{I_{\Delta}^2}.$$

2. Соберем цепь (см. рис. 27):

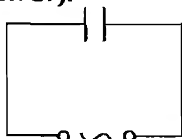


Рис. 27

$$U = U_m \sin \omega t$$

$$I = q' = (CU)' = CU'\ ;$$

$$U' = (U_m \sin \omega t)' = U_m \omega \cos \omega t = U_m \omega \left(\sin \omega t + \frac{\pi}{2} \right);$$

$$I = U_m \omega C \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) = I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right);$$

$$I_m = U_m \omega C\ .$$

Разность фаз $\Delta l = l_u - l_I = -\frac{\pi}{2}$.

$$R = \frac{U}{I};$$

$$\frac{U_m}{I_m} = \frac{1}{\omega C};$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C};$$

$$I_m = \frac{U_m}{X_C} \text{ и } I_{\Delta} = \frac{U_{\Delta}}{X_C},$$

где X_C – сильное сопротивление.

3. Соберем цепь (см. рис. 28):

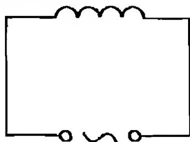


Рис. 28

Пусть есть L, но R = 0.

$$I = I_m \sin \omega t\ ;$$

$$U + \varepsilon = 0\ ;$$

$$U = -\varepsilon_S = LI';$$

$$I' = (I_m \sin \omega t)' = I_m \omega \cos \omega t = I_m \omega \left(\sin \omega t + \frac{\pi}{2} \right);$$

$$U_m = I_m \omega L \sin \cdot \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) = U_m \left(\sin \omega t + \frac{\pi}{2} \right);$$

$$\Delta l = l_u - l_1 = \frac{\pi}{2};$$

$$X_L = \omega L.$$

X_L – индуктивное сопротивление.

V. Закрепление изученного материала

– Какие виды сопротивлений различаются в цепи переменного тока?
– Напишите уравнения изменения мгновенного значения напряжения и силы тока на активном сопротивлении. Начертите их графики.
– По какой формуле определяется емкостное сопротивление?
– Что нагревают индуктивным сопротивлением?
– Напишите формулу для индуктивного сопротивления.
– Какой сдвиг фаз между током и напряжением существует в цепи переменного тока, содержащей только катушку индуктивности? Только конденсатор?

VI. Решение задач

1. В цепь переменного тока с действующим значением напряжения 220 В включили активное сопротивление 50 Ом. Найдите действующее и амплитудное значение для силы тока. (*Ответ:* I = 4,4; I_m = 6,16 А.)

2. Каково индуктивное сопротивление проводника с индуктивностью 0,05 Гн в цепи переменного тока частотой 50 Гц? (*Ответ:* $x_c \approx$ 15,7 Ом.)

3. Определите период переменного тока, для которого конденсатор емкостью 2 нкФ представляет сопротивление 8 Ом. (*Ответ:* 10^{-1} с.)

4. Конденсатор включен в цепь переменного тока стандартной частоты. Напряжение в сети 220 В. Сила тока в цепи 2,5 А. Какова емкость конденсатора? (*Ответ:* С = 36 мкФ.)

VII. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 32, 33, 34;
Р – 964; Р – 965.

Урок 32. Лабораторная работа по теме «Измерение силы тока в цепи с конденсатором»

Задание: рассчитайте действующее значение силы переменного тока в цепи с конденсатором известной электроемкости; выполните измерение силы тока в этой цепи; сравните расчетное и экспериментальное значение силы тока.

Оборудование: источник переменного напряжения (6 В), конденсатор бумажный (6 мкФ), миллиамперметр переменного тока, вольтметр переменного тока, омметр, соединительные провода.

Содержание и метод выполнения работы

Два проводника, разделенные слоем диэлектрика, обладают электроемкостью С.

При подаче переменного напряжения между такими проводниками перенос электрических зарядов сквозь диэлектрик не происходит, но периодически повторяющиеся процессы зарядки и разрядки конденсатора приводят к возникновению переменного тока в цепи, содержащей конденсатор. Действующее значение силы тока J в этой цепи определяется значением электроемкости C, частотой ω вынужденных колебаний силы тока в цепи и действующим значением напряжения U на обкладках.

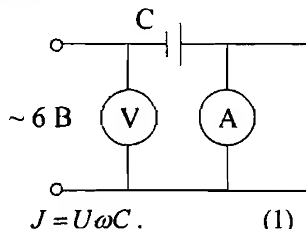


Рис. 29

$$J = U\omega C. \qquad (1)$$

Данное равенство справедливо, если можно пренебречь активным сопротивлением R остальных участков цепи, то есть если

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi\nu C} >> R, \qquad (2)$$

Таким образом, рассчитав силу тока по формуле (1), можно сравнить полученное значение с показанием миллиамперметра, предварительно убедившись в справедливости неравенства (2).

Порядок выполнения работы

1. Вычислите емкостное сопротивление X_C конденсатора на частоте 50 Гц.

2. Рассчитайте действующее значение силы тока J_m в цепи с конденсатором при подаче на его обкладки переменного напряжения 6 В.

3. Соберите электрическую цепь по схеме, представленной на рисунке, и выполните измерения силы тока в цепи при напряжении 6 В.

4. Измерьте с помощью омметра электрическое сопротивление R проводящих проводов и амперметра.

5. Вычислите границы относительных погрешностей экспериментального измерения силы тока в цепи $J_э$ и теоретического значения J_m. Сравните результаты расчета и измерений с учетом границ погрешностей измерений. Результаты измерений и вычислений занесите в отчетную таблицу.

U, В	υ, Гц	С, Ф	X_c, Ом	R, Ом	$J_э$, А	$J_т$, А	$ε_э$	$ε_т$

Дополнительное задание

Исследуйте зависимость действующего значения силы тока в цепи с конденсатором от действующего значения напряжения, постройте график. Рассчитайте значения силы тока в цепи при последовательном и параллельном включении конденсаторов с электроемкостью 6 мкФ и 4 мкФ. Результаты расчета проверьте экспериментально.

Домашнее задание

Р – 966; Р – 967.

Урок 33. Лабораторная работа по теме «Измерение индуктивного сопротивления катушки»

Задание: вычислите индуктивное сопротивление катушки и ее индуктивность по результатам измерений напряжений на катушке и силы тока в цепи.

Оборудование: источник переменного напряжения (6 В); катушка школьного разборного трансформатора; вольтметр и миллиамперметр переменного тока; соединительные провода; ключ однополюсной; омметр.

Содержание и метод выполнения работы

Индуктивное сопротивление катушки переменному току с частотой ω равно:

$$X_L = \omega L = 2\pi\nu L.$$

Если активное сопротивление обмотки катушки значительно меньше индуктивного сопротивления катушки переменному току $(R << X_L)$, то зависимость между действующими значениями силы тока O в катушке и напряжения U, приложенного к концам ее обмотки, определяется выражением:

$$J = \frac{U}{X_L} = \frac{U}{2\pi \nu L}.$$

Цель данной лабораторной работы – измерить индуктивное сопротивление и определить индуктивность катушки. Эта задача осложняется тем обстоятельством, что наряду с индуктивным сопротивлением, катушка обычно обладает еще активным сопротивлением R.

Для определения индуктивного сопротивления катушки X_L можно определить ее полное сопротивление переменному току Z, измерив действующие значения переменного напряжения на концах катушки U и силу тока J в ней:

$$Z = \frac{U}{J}.$$

Затем, используя выражение $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ (так как $X_C = 0$), можно найти индуктивное сопротивление катушки:

$$X_L = \sqrt{Z^2 - R^2}.$$

Активное сопротивление катушки K можно измерить в отдельном опыте с помощью омметра.

Порядок выполнения работы

1. Соберите электрическую цепь и выполните измерение силы тока в цепи при напряжении 6 В. Вычислите полное сопротивление катушки.

2. Выключите переменное напряжение и измерьте активное сопротивление катушки R омметром.

3. По результатам измерений полного Z и активного R сопротивлений катушки вычислите ее индуктивное сопротивление X_L и индуктивность L.

4. Оцените границы относительной погрешности измерений индуктивности. Результаты измерений и вычислений занесите в отчетную таблицу:

ν, Гц	U, В	J, А	Z, Ом	R, Ом	X_L, Ом	L, Гн	ε, L

Домашнее задание

Р – 35.

Урок 34. Автоколебания

Цель: рассмотреть незатухающие колебания.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение материала

1. Вопросы для повторения.

– Что такое колебательный контур?
– Чему равна полная энергия колебательного контура?
– Опишите процессы, происходящие в контуре при свободных электромагнитных колебаниях.
– Каковы причины свободных электромагнитных колебаний в контуре?

2. Самостоятельная работа.

I вариант

1. В колебательном контуре ток сдвинут по фазе относительно заряда на:

А. $\frac{\pi}{2}$;

Б. π;

В. $\frac{\pi}{4}$.

2. За счет чего поддерживается ток в колебательном контуре, когда появляющаяся на конденсаторе разность потенциалов препятствует его протеканию?

А. За счет увеличения энергии магнитного поля катушки.

Б. За счет увеличения заряда на конденсаторе.

В. За счет уменьшения энергии магнитного поля катушки.

3. Как изменится частота электромагнитных колебаний в контуре, если сблизить пластины конденсатора?

А. Уменьшится.

Б. Увеличится.

В. Не изменится.

4. Через какую долю периода после замыкания заряженного конденсатора на катушку индуктивности энергия в контуре распределится между конденсатором и катушкой поровну?

А. $\frac{1}{2}T$;

Б. $\frac{1}{4}T$;

В. $\frac{1}{8}T$.

5. В колебательном контуре емкость увеличена в 4 раза. Что нужно сделать, чтобы период колебаний остался прежним?

А. Увеличить индуктивность в 4 раза.
Б. Уменьшить индуктивность в 2 раза.
В. Уменьшить индуктивность в 4 раза.

(*Ответы:* 1) А; 2) В; 3) А; 4) В; 5) В.)

II вариант

1. Какие превращения энергии происходят в колебательном контуре?

А. Энергия электрического поля конденсатора превращается во внутреннюю энергию катушки индуктивности.
Б. Энергия магнитного поля катушки превращается во внутреннюю энергию конденсатора.
В. Энергия электрического поля конденсатора превращается в магнитную энергию магнитного поля катушки индуктивности, энергия магнитного поля катушки переходит в энергию электрического поля конденсатора.

2. В момент времени $t = 0$ энергия конденсатора равна $4 \cdot 10^{-6}$ Дж. Через $\frac{1}{8}T$ энергия на конденсаторе уменьшилась наполовину. Какова энергия магнитного поля катушки?

А. $4 \cdot 10^{-6}$ Дж.
Б. $2 \cdot 10^{-6}$ Дж.
В. 10^{-6} Дж.

3. Чему равен сдвиг фаз между зарядом и силой тока в колебательном контуре?

А. π;

Б. $\frac{\pi}{4}$;

В. $\frac{\pi}{2}$;

Г. 0.

4. Как изменится частота электромагнитных колебаний в контуре, если в катушку ввести железный сердечник?

А. Увеличится.

Б. Не изменится.

В. Уменьшится.

5. Как изменится частота свободных электрических колебаний в контуре, если емкость конденсатора и индуктивность катушки увеличится в 5 раз?

А. Уменьшится в 25 раз.

Б. Увеличится в 5 раз.

В. Уменьшится в 5 раз.

(*Ответ:* 1) В; 2) Б; 3) В; 4) В; 5) В.)

III. Изучение нового материала

Системы, подобные часам, в которых генерируются незатухающие колебания за счет поступления энергии от источника, называются автоколебательными системами (органная труба, свисток, сердце).

Эксперимент. Труба Рикке.

Вынужденные электрические колебания, вырабатываются генераторами на электростанциях. Они неспособны вырабатывать колебания высокой частоты, которые применяются в радиотехнике.

Колебания высокой частоты можно получить с помощью лампового генератора. Основной его частью является трехэлектродная лампа – триод.

Когда замыкают цепь генератора, появляется импульс тока, который заряжает конденсатор колебательного контура. Для того чтобы колебания не затухали, конденсатор нужно периодически подзаряжать.

Конденсатор начинает разряжаться, на нижней обкладке находится положительный заряд, через катушку идет нарастающий ток. Переменное магнитное поле этого тока пронизывает не только катушку L, но и расположенную рядом с ней катушку $L_{св}$ (катушку обратной связи), порождая в каждой катушке вихревое электрическое поле. Поле создает положительный потенциал на сетке лампы, и через нее начинает идти анодный ток. Этот ток подзаряжает конденсатор в контуре, и потери энергии компенсируются.

Когда нижняя пластина конденсатора заряжена отрицательно, конденсатор должен отключиться от источника.

В генераторе это происходит автоматически. Переменное магнитное поле убывающего тока в контуре создает в катушке обратной связи вихревое электрическое поле такого напряжения, что потенциал на сетке лампы становится отрицательным. Лампа при этом запирается, и анодный ток прекращается:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

Ламповые генераторы позволяют получать колебания с частотой до миллиона кГц. В настоящее время ламповые генераторы почти полностью вытеснены полупроводниковыми на транзисторах, за исключением очень мощных.

Генераторы на транзисторах компактнее, надежнее и экономичнее ламповых.

Основные элементы, характерные для многих автоколебательных систем

Источник энергии
Устройство, регулирующее поступление энергии
Колебательная система
Обратная связь

1. Источник энергии – источник постоянного напряжения.

2. Устройство, регулирующее поступление энергии от источника (клапан) – триод.

3. Колебательная система – колебательный контур.

4. Обратная связь – индуктивная связь катушки контура с катушкой в цепи сетки.

IV. Закрепление изученного материала

- Что такое автоколебательная система?
- Перечислите основные элементы автоколебательной системы.
- Приведите примеры автоколебательных систем.

V. Решение задач

1. Возникающая в рамке ЭДС индукция при вращении в однородном магнитном поле изменяется по закону $\varepsilon = 12\sin 100\pi t$. Определить амплитуду колебаний ЭДС, ее действующее значение, циклическую и линейную частоту колебаний, период, фазу и начальную фазу. (*Ответ:* 0 В; 8,5 В; 100 π рад/с; 50 Гц; 0,02 с; 100 πt ; 0.)

2. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью 2 мкФ и катушки индуктивностью 500 мГн. Найти частоту собственных колебаний контура. (*Ответ:* 160 Гц.)

3. Индуктивность колебательного контура равна 0,01 Гн, емкость 8 мкФ. Конденсатор заряжен до разности потенциалов 200 В. Какой наибольший ток возникает в контуре в процессе электромагнитных колебаний? (*Ответ:* 2А.)

4. Определите длину волны, на которую настроен колебательный контур приемника, если его емкость равна 5 мФ, а индуктивность равна 50 мкГн. (*Ответ:* 942 м.)

5. В колебательном контуре конденсатор сообщил заряд, равный 1 мКл, после чего в контуре возникли затухающие электромагнитные колебания. Какое количество теплоты выделится к моменту, когда максимальное напряжение на конденсаторе стало меньше начального максимального значения в 4 раза? Емкость конденсатора 10 мкФ. (*Ответ:* 0,047 Дж.)

VI. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 36.

Урок 35. Лабораторная работа по теме «Исследование электрических схем с индуктивными, емкостными и активными элементами»

Задание: исследуйте электрические параметры неизвестной электрической схемы – «черного ящика».

Оборудование: авометр; генератор звуковой частоты; «черный ящик»; источник электропитания ИЭПП-2.

Ход урока

Содержание и метод выполнения работы

Исследование «черного ящика» на постоянном токе можно выполнить путем измерения его активного сопротивления и снятия его вольтамперной характеристики. Однако измерения на постоянном токе не позволяют отличить в «черном ящике» резистор от катушки, обнаружить конденсатор и определить его электроемкость.

Для того чтобы отличить резистор от катушки, можно исследовать зависимость силы переменного тока от частоты приложенного напряжения. Электрическое сопротивление резистора в диапазоне частот от 20 Гц до 20 кГц остается практически неизменным. Следо-

вательно, графиком зависимости силы тока от частоты при неизменном напряжении будет горизонтальная прямая (рис. 30).

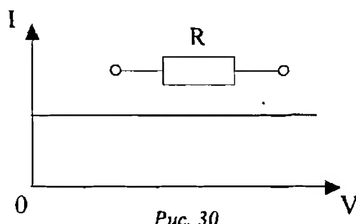


Рис. 30

Катушка с электрическим сопротивлением обмотки R и индуктивностью L может быть представлена как цепь из последовательно включенных резисторов с активным сопротивлением E и идеальной катушки с индуктивностью L.

С увеличением частоты ν приложенного напряжения индуктивное сопротивление X_L катушки растет прямо пропорционально частоте:

$$X_L = 2\pi\nu L.$$

По закону Ома:

$$J = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + 4\pi^2\nu^2 L^2}}.$$

График зависимости силы тока в катушке от частоты при постоянном значении амплитуды приложенного напряжения представлен на рис. 31:

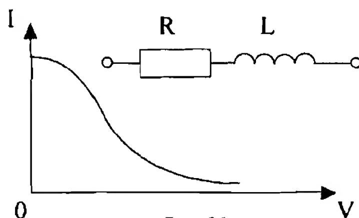


Рис. 31

Для определения индуктивности L катушки можно воспользоваться результатами измерения напряжения U и силы тока J на достаточно большой частоте, при которой активное сопротивление R обмотки пренебрежимо мало по сравнению с ее индуктивным сопротивлением X_L:

$$X_L \approx Z = \frac{U}{J} \text{ и } L = \frac{X_L}{2\pi\nu} = \frac{U}{2\pi\nu J}.$$

Если электрическое сопротивление между выводами «черного ящика» настолько велико, что его значение не удается определить с

помощью омметра, то можно предложить, что в цепь включен конденсатор. Наличие конденсатора в схеме «черного ящика» можно установить, подключив к его клеммам источник переменного тока и измеряя силу тока в цепи на различных частотах. Так как емкостное сопротивление X_C конденсатора обратно пропорционально частоте ν:

$$X_C = \frac{1}{2\pi\nu C},$$

то при постоянной амплитуде переменного напряжения сила тока должна линейно возрастать с увеличением частоты. Если в «черном ящике» заключен только конденсатор, то график зависимости силы тока от частоты имеет вид, представленный на рис. 32.

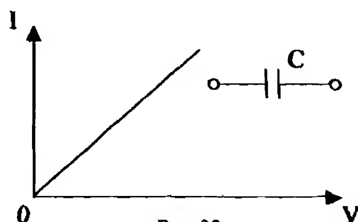


Рис. 32

Зависимость силы тока от частоты при последовательном включении резистора и конденсатора представлена на рис. 33.

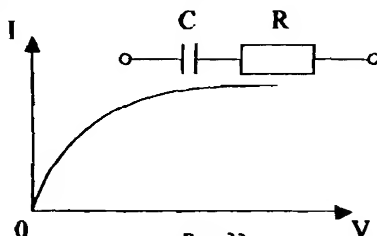


Рис. 33

При параллельном включении этих элементов зависимость имеет вид, показанный на рис. 34.

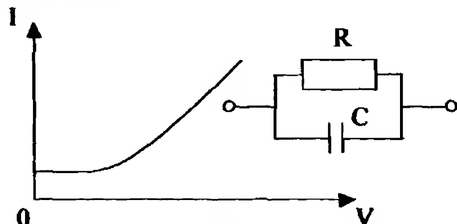


Рис. 34

Очевидно, в первом случае сопротивлением резистора при определении емкости конденсатора можно пренебречь на достаточно низкой частоте. На высоких же частотах может стать пренебрежимо малым емкостное сопротивление конденсатора. Во втором случае измерение электрического сопротивления резистора возможно с помощью омметра, а для определения емкости конденсатора можно найти значение его емкостного сопротивления X_C в области высоких частот, где

$$X_C << R \text{ и } Z \approx X_C;$$

$$X_C \approx \frac{U}{J},\ C = \frac{1}{2\pi\nu X_C} \approx \frac{1}{2\pi\nu U}.$$

Если в «черном ящике» находится электрическая цепь из последовательно соединенных катушки, конденсатора и резистора, то график зависимости силы тока от частоты при постоянном значении переменного напряжения U имеет вид, представленный на рис. 35.

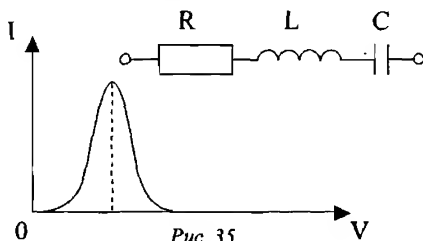


Рис. 35

Значения активного сопротивления R в этой цепи можно определить, воспользовавшись тем графиком, что при наступлении резонанса Z = R и, следовательно,

$$J_p = \frac{U}{Z} \approx \frac{U}{R}.$$

Откуда следует:

$$R = \frac{U}{J_p}.$$

Емкость конденсатора можно определить, приняв, что на низких частотах полное сопротивление цепи Z приблизительно равно емкостному сопротивлению X_C:

$$J = \frac{U}{Z} \approx \frac{U}{X_C} = 2\pi\nu\, CU.$$

Откуда находим:

$$C = \frac{1}{2\pi\nu U}.$$

Индуктивность катушки L можно определить из условия резонанса $\frac{1}{\omega C} = \omega L$ по экспериментально найденному значению резонансной частоты ω_0:

$$L = \frac{1}{\omega_0^2 C} = \frac{1}{4\pi^2 \nu_0^2 C}.$$

При получении графика зависимости силы тока от частоты такого вида, какой представлен на рисунке, можно сделать заключение о том, что в «черном ящике» включены параллельно резистор, конденсатор и катушка. Значения активного сопротивления, емкости и индуктивности можно в этом случае определить аналогичным способом.

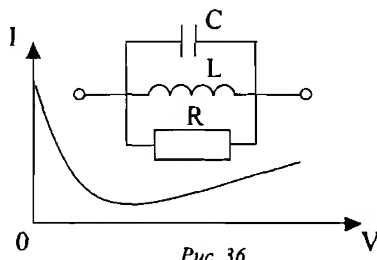


Рис. 36

Более сложные зависимости силы тока от частоты обнаруживаются при различных сочетаниях параллельного и последовательного включения элементов цепей.

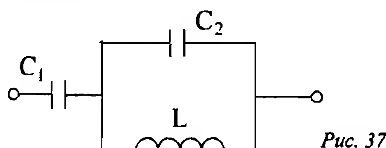


Рис. 37

Например, для цепи, схема которой показана на рис. 37, график зависимости силы тока от частоты имеет вид:

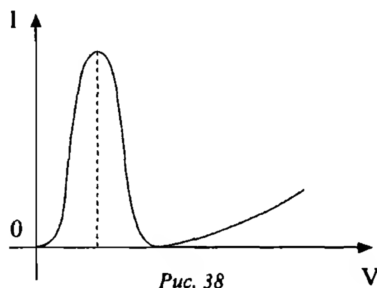


Рис. 38

Начальный участок кривой *0A* позволяет определить электроемкость конденсатора C_1:

$$C_1 = \frac{1}{2\pi\nu U}.$$

Индуктивность катушки L и электроемкость конденсатора C_2 можно рассчитать из условия:

$$\nu_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_1 + C_2)}} \text{ и } \nu_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_2}}.$$

Порядок выполнения работы

1. Проведите испытание «черного ящика» с помощью омметра. Для этого выполните измерения электрического сопротивления между его выводами для двух направлений электрического тока.

2. Подключите «черный ящик» последовательно с миллиамперметром постоянного тока к выходу ИЭПП-2 на 12 В. Выполните измерения силы тока в цепи при различных значениях напряжения (от 0 до 12 В). Измените полярность подключения напряжения к выводам «черного ящика» и повторите серию измерений. Если отклонения стрелки миллиамперметра очень малы, замените миллиамперметр микроамперметром.

3. Подключите «черный ящик» последовательно с миллиамперметром переменного тока к выходу генератора переменного напряжения звуковой частоты. Для измерения переменного напряжения на выходе генератора используется авометр.

Исследуйте график зависимости силы тока в цепи от частоты.

4. По результатам испытаний «черного ящика» на постоянном и переменном токе определите параметры электрической цепи в «черном ящике».

Домашнее задание

Р – 968; Р – 969.

Урок 36. Решение задач

Цель: научить использовать теоретические знания на практике.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение изученного материала

– Что представляет собой переменный электрический ток?

- Что называется амплитудным и мгновенным значениями силы переменного тока, напряжения?
- Что называется действующим значением силы переменного тока и напряжения переменного тока?
- Как влияет на величину переменного тока наличие в цепи индуктивности, емкости?
- От чего зависит величина индуктивного и емкостного сопротивления в цепи переменного тока?
- Чему равно полное сопротивление в цепи последовательно включенных активного и реактивного сопротивлений?
- Запишите закон Ома для цепи переменного тока с последовательно включенными активным и реактивным сопротивлениями.

III. Решение задач

1. Какую необходимо взять емкость в колебательном контуре, чтобы при индуктивности 250 мГц можно было бы его настроить на звуковую частоту 500 Гц?

Решение:

$$T = 2\pi\sqrt{L \cdot C}\ ;\ C = \frac{T^2}{4\pi^2 L}.$$

(*Ответ:* $C = 0{,}4 \cdot 10^{-6}$ Ф.)

2. На какую длину волны настроен колебательный контур, если он состоит из катушки с индуктивностью $L = q \cdot 10^{-3}$ Гн и плоского конденсатора? Расстояние между пластинами конденсатора $d = 1$ см, диэлектрическая проницаемость вещества между пластинами конденсатора $\varepsilon = 800$ см^2.

Решение:

$$T = 2\pi\sqrt{L \cdot C}\ ;\quad C = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 S}{d}\ ;$$

$$T = 2\pi\sqrt{L\frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 S}{d}}\ ;\quad \lambda = 2\pi C\sqrt{L\frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0}{d}}\ .$$

(*Ответ:* $\lambda \approx 2350$ м.)

3. Найти индуктивность катушек, если амплитуда напряжений на ее концах $U_0 = 160$ В, амплитуда тока $I_0 = 10$ А и частота $\nu = 50$ Гц.

Решение:

$$X_L = \omega L\ ;\quad \omega = 2\pi\nu\ ;\quad I_0 = \frac{U_0}{X_L}\ ;\quad L = \frac{U}{2\pi\nu I_0} = 0{,}051\ \text{Гн}.$$

(*Ответ:* $L = 0{,}051$ Гн.)

4. Колебательный контур, состоящий из катушки индуктивности и воздушного конденсатора, настроен на длину волны $\lambda_1 = 300$ м. Расстояние между пластинами конденсатора при этом равно $d_1 = 4,8$ мм. Каким должно быть это расстояние, чтобы контур был настроен на длину волны $\lambda_2 = 240$ м?

Решение:

$$\lambda_1 = 2\pi C\sqrt{L\cdot C_1}, \quad \lambda_2 = 2\pi C\sqrt{L\cdot C_2};$$

$$C_1 = \frac{\varepsilon_0 S}{d_1}, \quad C_2 = \frac{\varepsilon_0 S}{d_2};$$

$$\lambda_1 = 2\pi C\sqrt{L\frac{\varepsilon_0 S}{d_1}}, \quad \lambda_2 = 2\pi C\sqrt{L\frac{\varepsilon_0 S}{d_2}};$$

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \sqrt{\frac{d_2}{d_1}}; \quad d_2 = d_1\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)^2 = 7,5 \text{ мм.}$$

(*Ответ:* $d_2 = 7,5$ мм.)

5. Лампочку для карманного фонаря, рассчитанную на напряжение $U = 2,5$ В и силу тока $I = 0,15$ А, соединили последовательно с конденсатором и включили в сеть с напряжением $U_1 = 220$ В и частотой $\nu = 50$ Гц. Какой должна быть емкость конденсатора, чтобы лампочка горела нормальным накалом? (*Ответ:* 2,21 мкФ.)

6. Источник переменного тока подключен к последовательному индуктивному сопротивлению, равному 0,2 Гц, и емкости, равной 15 мкФ. Частота источника тока равна 400 Гц, амплитуда силы тока равна 42 мВ. Найдите амплитудное значение ЭДС. (*Ответ:* $\varepsilon = 20$ В.)

7. Какой мощности переменный ток дойдет до потребителя, если мощность подстанции равна 50 кВт при напряжении 220 В? Угол сдвига фаз равен 12°. Сопротивление линий равно 1,2 Ом. (*Ответ:* 43,5 кВт.)

IV. Подведение итогов урока

Домашнее задание

Р – 971; Р – 972.

Урок 37. Решение экспериментальных задач

Цель: научить применять теоретические знания на практике.

Ход урока

I. Организационный момент

..

II. Решение задач

1. Используя источник переменного напряжения, конденсатор известной электроемкости, реостат неизвестного сопротивления или резистор, а также вольтметр, разработайте способ измерения сопротивления резистора.

Указания:

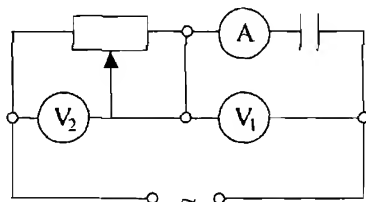


Рис. 39

$$\frac{U_C}{\frac{1}{\omega \cdot C}} = \frac{U_R}{R_X}; \quad R_X = \frac{U_R}{U_C} = \frac{1}{\omega \cdot C}.$$

2. Соберите цепь (см. рис. 40):

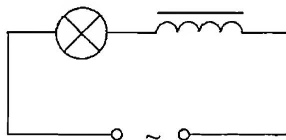


Рис. 40

Объясните изменение накала низковольтной лампочки при изменении индуктивности катушки школьного трансформатора.

Ответьте на вопрос: Как и почему меняется напряжение на зажимах лампочки и катушки?

3. На катушку с сердечником наденьте сложенное алюминиевое кольцо. Включите катушку в сеть. Наблюдается подбрасывание кольца над сердечником. Затем возьмите разрезанное алюминиевое кольцо и наденьте его на сердечник. При включении катушки в сеть разрезанное кольцо подбрасывается. Объясните явление.

4. Две одинаковые по напряжению и мощности лампы (U = 220 В, P = 60 Вт) включите последовательно с различными конденсаторами в отдельные электрические цепи переменного тока. Почему лампы горят с различным накалом? В каком случае емкость конденсатора больше?

5. Как проверить, к каким клеммам на электрораспределительном щите подходит фазовый провод, а к каким – нулевой?

6. Возьмите универсальный трансформатор с одной катушкой, соответствующей напряжению сети. Включите его в сеть, а на сво-

бодную часть сердечника намотайте 1–3 витка провода, соединенного с лампой на 2,5–3,5 В. При этом лампа не горит. Сделайте 4-й виток. При этом появляется слабый накал. Далее при 5–6 витках накал усиливается. Объясните, почему.

III. Подведение итогов урока

Домашнее задание

Р – 978; Р – 979.

Глава 5. Производство, передача и использование электрической энергии

Урок 38. Генераторы тока

Цель: показать практическое применение закона электромагнитной индукции.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение изученного

- Какое явление называют электромагнитной индукцией?
- Чем отличается электрическое поле, порождаемое переменным магнитным полем, от электростатического поля?
- Почему в неподвижном проводящем контуре, находящемся в переменном магнитном поле, появляется индукционный ток?
- Может ли вызвать ток в неподвижной катушке магнитная сила Лоренца, действующая в ней на свободные электроны со стороны магнитного поля магнита?
- С помощью какого закона можно найти силу индукционного тока?
- Сформулируйте закон электромагнитной индукции.
- Чему равна ЭДС индукции в катушке из N витков?

III. Анализ экспериментов

Объясните эксперименты:

Эксперимент 1

Изготовленную из медного провода толщиной 0,5–1 мм катушку, из 30–50 витков, диаметром 50 см, подключите к гальванометру демонстрационного вольтметра. Расположите катушку перпендикулярно к плоскости магнитного меридиана и к магнитным линиям

магнитного поля. Затем поверните на пол-оборота. Гальванометр отмечает ток. Поверните еще на пол-оборота – гальванометр отмечает ток другого направления. Почему? (*Ответ:* В витках возникает ток под действием магнитного поля Земли.)

Эксперимент 2

Возьмите проводник длиной 10 м, сложите его вдвое и сделайте катушку диаметром 4–5 см. Подключите концы обмотки к гальванометру и вводите внутрь нее магнит. Стрелка находится в покое. Объясните наблюдаемое явление. (*Ответ:* В каждой части возникает ЭДС, но ЭДС одной части равно и противоположно по направлению ЭДС другой. Тока в катушке нет.)

Эксперимент 3

Основную обмотку дроссельной катушки присоедините к гальванометру демонстрационного амперметра.

Почему при внесении внутрь катушки водопроводной трубы возникает ток?

Поверните трубу с катушку на 180°. Гальванометр обнаруживает ток. Почему?

Ударьте достаточно сильно молотком по концу трубы. Почему в момент удара возникает ток?

Переверните трубу с катушкой и вновь ударьте. Почему гальванометр отмечает в последнем случае большой ток?

(*Ответ:* В первом опыте труба действует как магнит, поскольку она находится в магнитном поле Земли. Во втором – поворот вызывает перемагничивание ее в поле Земли, что приводит к изменению магнитного поля около катушки и к возникновению индукционного тока. При ударе увеличивается степень намагничивания трубы. В результате наблюдается изменение магнитного поля, которое приводит к возникновению тока. При перемагничивании в процессе удара наблюдается большое изменение магнитного поля, что приводит к возникновению большого тока.)

IV. Изучение нового материала

В генераторе переменного тока механическая энергия вращения преобразуется в электрическую энергию переменного тока. Состоит генератор из индуктора (электромагнита или магнита, создающего магнитное поле), якоря (обмотки, в которой возникает ЭДС). Его действие основано на явлении электромагнитной индукции.

Пусть магнит вращается вокруг рамки с постоянной частотой ν. За время t он совершает $N = \nu \cdot t$ оборотов. Каждому обороту соответствует 360° или 2π. За все время магнит повернется на угол:

$$\Delta l = 2\pi N = 2\pi \nu t = \omega t\,,$$

где $\omega = 2\pi\nu$ – циклическая частота вращения.

Рамка будет пронизываться магнитным потоком:

$$\Phi = B \cdot S \cos l = BS\cos(l_0 + \Delta l) = BS\cos(\omega t + P_0)\,.$$

Из-за постоянного изменения угла пронизывающий рамку магнитный поток тоже меняется:

$$\varepsilon_i = -\Phi' = -(BS\cos P)' = BS\sin l \cdot l'\,;$$

$$P' = (\omega t + P_0)' = \omega\,.$$

$$\varepsilon_i = BS\omega\sin(\omega t + P_0)\,.$$

Если подключить устройство, потребляющее энергию, то:

$$I_i = \frac{\varepsilon_i}{R} = \frac{BS\omega}{r}\sin(\omega t + l_0)\,.$$

В рассмотренной модели вращающейся частью (ротором) был магнит, а неподвижной частью (статором) – рамка. Но может быть и наоборот: рамка – якорь генератора, статор – магнит. Причиной появления тока будет действие на электроны, движущиеся вместе с рамкой магнитной силы Лоренца. Аналогичным образом устроен и генератор постоянного тока.

V. Закрепление материала

– Что представляет собой генератор переменного тока?
– Опишите его устройство и принцип действия.

Далее решение задач № 979–980.

VI. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 37.

Урок 39. Трансформатор. Передача электроэнергии

Цели: показать способы передачи электроэнергии; познакомить с устройством трансформатора.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Вопросы для повторения

– Что такое автоколебания?
– Опишите принцип действия лампового генератора.
– Начертите схему генератора на транзисторе.

– Перечислите основные элементы автоколебаний системы.
– Какие детали лампового генератора им соответствуют?

III. Изучение нового материала

ЭДС мощных генераторов электростанций довольно велика. Между тем на практике чаще всего нужно не слишком высокое напряжение. Преобразование переменного тока, при котором напряжение увеличивается или уменьшается в несколько раз, практически без потерь мощности осуществляется с помощью трансформаторов.

Трансформатор состоит из замкнутого стального сердечника, собранного из пластин, на который надеты две (иногда и более) катушки с проволочными обмотками. Одна называется первичной (подключается к источнику переменного напряжения). Вторую обмотку, к которой присоединяют «нагрузку» (приборы), называют вторичной.

Действие трансформатора основано на явлении электромагнитной индукции.

При прохождении переменного тока по первичной обмотке в сердечнике появляется переменный магнитный поток, который возбуждает ЭДС индукции к каждой обмотке.

$$\varepsilon = -\Phi' \; ; \; \Phi' = -\omega\Phi_m \sin\omega t \, .$$

$\varepsilon_m = \omega\Phi_m$ – амплитуда ЭДС в одном витке.

Полная ЭДС в первичной обмотке – N ·l.

Во вторичной – $N_2 \cdot l_2$.

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{N_1}{N_2} \, ;$$

$$|U_1| \approx |l_1| \, , \; |U_2| \approx |l_2| \, ;$$

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{N_1}{N_2} = K \, .$$

K – коэффициент трансформации.

Если K > 1, трансформатор – понижающий.

Если K < 1, трансформатор – повышающий.

Если вторая обмотка замкнута на нагрузку, в ней появляется переменный ток. Мощность в первичной обмотке будет приблизительно равна мощности во вторичной.

$$U_1 I_1 \approx U_2 I_2 \, ;$$

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{I_2}{I_1} \, .$$

Повышая с помощью трансформатора напряжение в несколько раз, мы во столько же раз уменьшаем силу тока, и наоборот.

Существующие в трансформаторе незначительные потери энергии (2–3 %) обусловлены перемагничиванием сердечника, выделением теплоты в обмотках и сердечнике.

IV. Закрепление материала

– Что называют трансформатором?
– На каком явлении основан принцип действия трансформатора?
– Опишите устройство трансформатора.
– Что называют коэффициентом трансформации?

V. Проведение самостоятельной работы

I вариант

1. В колебательный контур включен конденсатор емкостью 200 кФ. Какую индуктивность нужно включить в контур, чтобы получить в нем электрические колебания частотой 400 кГц? (*Ответ:* 0,8 Гн.)

2. К зажимам генератора присоединен конденсатор емкостью 0,1 мкФ. Определить амплитуду колебаний напряжения на зажимах конденсатора, если сила тока равна 1,6 А, период колебаний равен 0,2 мс. (Ответ: 700 В.)

3. В колебательном контуре индуктивность катушки равна 0,2 Гн, а амплитуда колебаний силы тока равна 40 мА. Найти энергию электрического поля конденсатора и магнитного поля катушки в тот момент, когда мгновенное значение силы тока в 2 раза меньше амплитудного значения. (*Ответ:* 120 мкДж; 40 МкДж.)

Дополнительная задача

Трансформатор с коэффициентом трансформации равным 10, понижает напряжение с 10 кВ до 800 В. При этом во вторичной обмотке идет ток силой 2 А. Определите сопротивление вторичной обмотки. (Потерями энергии пренебречь.) (*Ответ:* 100 Ом.)

II вариант

1. Сила тока изменяется по закону $i = 3\cos\left(100\pi t + \frac{\pi}{3}\right)$. Определите амплитуду колебаний силы тока, действующее значение силы тока, циклическую и линейную частоту колебаний, период, фазу и начальную фазу колебаний. (*Ответ:* 3 А; 2,13 А; 100π; 50 Гц; 0,02 с; $100\pi t + \frac{\pi}{3}$.)

2. Конденсатор включен в цепь переменного тока с частотой 50 Гц. Напряжение в сети равно 220 В. Сила тока в цепи равна 2,5 А. Какова емкость конденсатора? (*Ответ:* 36 мкФ.)

3. Найдите отношение энергии магнитного поля к энергии электрического поля для момента времени $\frac{T}{8}$, считая, что процессы происходят в идеальном колебательном контуре. (*Ответ:* 1:1.)

Дополнительная задача

Сила тока в первичной обмотке трансформатора равна 0,5 А, напряжение на ее концах равно 220 В. Какова сила тока во вторичной обмотке трансформатора, если напряжение во вторичной равно 12 В, а КПД трансформатора равно 87%? (*Ответ:* 8 А.)

Оценки:

«3» – за одну задачу;

«4» – за две задачи;

«5» – за три задачи.

VI. Подведение итогов работы

Домашнее задание

п. 38.

Урок 40. Лабораторная работа по теме «Определение числа витков в обмотках трансформатора»

Задание: определите число витков в обмотке трансформатора.

Оборудование: трансформатор лабораторный; источник переменного напряжения 12 В; авометр АВО-63; провод изолированный.

Ход урока

Содержание и метод выполнения работы

Для определения числа витков в обмотке трансформатора с неизвестными параметрами можно воспользоваться тем свойством трансформатора, что в режиме холостого хода отношение напряжений на первичной U_1 и вторичной U_2 его обмотках равно отношению числа витков ω_1 в первичной обмотке к числу витков ω_2 во вторичной обмотке:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}.$$

Намотав на сердечник трансформатора вторичную обмотку с известным числом витков ω_2 и, измерив напряжение U_2 на первичную обмотку, можно определить число витков ω_1 в первичной обмотке:

$$\omega_1 = \omega_2 \cdot \frac{U_1}{U_2}.$$

Порядок выполнения работы

1. Намотайте вторичную обмотку из 20–40 витков на сердечник исследуемого трансформатора.

2. Подключите выводы первичной обмотки трансформатора к источнику переменного напряжения U_1 = 12 В, измерьте напряжение U_2 на вторичной обмотке. По измеренным значениям напряжения U_1 и U_2 и известному числу витков ω_2 во вторичной обмотке, определите число витков ω_1 в первичной обмотке.

Дополнительное задание

Предложите способ определения предельного значения напряжений, которое можно подавать на первичную обмотку трансформатора. Определите это предельное напряжение экспериментально.

Домашнее задание

п. 38.

Урок 41. Производство, передача и использование электрической энергии

Цель: рассмотреть использование электрической энергии.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение изученного

- Что называют трансформатором? На каком явлении основан принцип его действия?
- Опишите устройство трансформатора. Начертите схему его включения в цепь.
- Что называется коэффициентом трансформации?
- Что называется КПД трансформатора?
- Что будет с трансформатором, если его включить в цепь постоянного тока?

III. Изучение нового материала

Производство электроэнергии

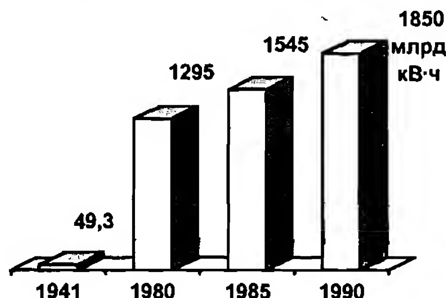
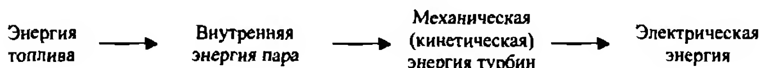


Рис. 41

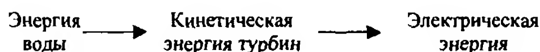
Осуществляется производство в основном с помощью электромеханических индукционных генераторов.

Получение электроэнергии в бывшем СССР. Это электростанции: тепловые (ТЭЦ), гидроэлектростанции (ГЭС), атомные (АЭС).

Источники энергии ТЭЦ – уголь, газ, мазут, сланцы.



Источник энергии ГЭС – потенциальная энергия воды.



Передача электрической энергии

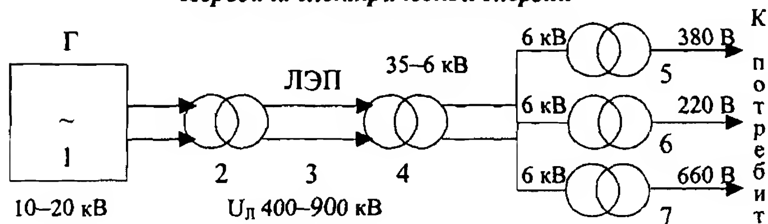


Рис. 42

1 – регенератор переменного тока;
2 – повышающие трансформаторы;
3 – линия электропередачи (ЛЭП).

4–7 – понижающие трансформаторы.

Теплота, выделяемая током на ЛЭП, $Q = I^2Rt$ сопротивление ЛЭП $R = \rho\frac{l}{S}$. Получаем $Q = I^2\rho\frac{l}{S}t$.

Из этого следует, что для уменьшения Q нужно либо увеличить S, что экономически невозможно, либо уменьшить силу тока I. Для уменьшения силы тока нужно увеличить напряжение, для этого используют повышающие трансформаторы.

Использование электроэнергии

Промышленность, транспорт, сельское хозяйство, бытовое потребление (освещение, холодильники, телевизоры). Большая часть электроэнергии превращается в механическую; 1/3 – на технические цели (электросварка, плавление, электролиз и т.п.).

IV. Закрепление материала

- Какие типы электростанций вы знаете?
- Назовите преимущества электроэнергии перед другими видами энергии.
- Перечислите, какие превращения энергии происходят при производстве электроэнергии на ТЭС, ГЭС.
- Как осуществляется передача электроэнергии на большие расстояния?
- Почему, чем длиннее линия передачи, тем выгоднее использовать более высокое напряжение?
- Какими преимуществами обладает переменный ток перед постоянным?

V. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 39, 40.

Урок 42. Решение задач по теме «Электромагнитные колебания. Переменный ток»

Цели: развитие навыков самостоятельной работы; отработка методов решения задач.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Проведение самостоятельной работы

Задачи на «3» балла

1. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью 0,2 Гц и конденсатора, емкость которого меняется от 10^{-7} до 40 кФ. На какие длины волн рассчитан контур? (*Ответ*: 266 пм; 5,33 пм.)

2. По графику (рис. 43) определите амплитудное значение силы тока, период и частоту. Напишите уравнение для мгновенного значения силы тока. (*Ответ*: 6 А; 0,04 с; 25 Гц; $i = 6 \cdot \sin 50\pi t$.)

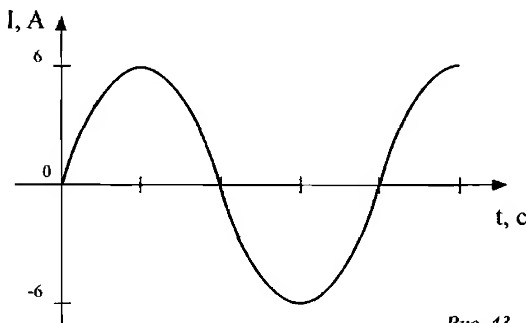


Рис. 43

3. Можно ли приемным колебательным контуром, состоящим из катушки индуктивностью 0,01 Гн и конденсатора емкостью 10 кФ, принимать передачи радиостанции, работающей на волне длиной 100 м? (*Ответ*: Нельзя.)

4. Уравнение колебаний напряжения (в СИ) $U = 40 \cdot \sin 10\pi t$. Определите амплитудное и действующее значения напряжения, период и частоту колебаний. (*Ответ:* 40 В; 28,4 В; 0,2 с; 5 Гц.)

Задачи на «4» балла

1. К первичной обмотке трансформатора, имеющего коэффициент трансформации 8, подано напряжение 220 В. Какое напряжение снимается со вторичной обмотки, если ее активное сопротивление 2 Ом, а ток, текущий по ней, равен 3 А? (*Ответ*: 21,5 В.)

2. Активное сопротивление катушки 4 Ом. Сила тока выражается формулой $i = 6,4 \cdot \sin(314t)$. Определить мощность и максимальное значение тока в этой цепи. Чему равно действующее значение тока? Какова частота колебаний тока? (*Ответ:* 82 Вт; 6,4 А; 50 Гц.)

3. В цепь переменного тока включен конденсатор емкостью 1 мкФ и дроссель индуктивностью 0,1 Гн. Найдите отношения индуктивного сопротивления к емкостному при частоте 5 кГц. При какой частоте эти сопротивления станут равными? (*Ответ*: 100; 503 Гц.)

4. В цепь переменного тока с частотой 50 Гц включено активное сопротивление 5 Ом. Амперметр показывает силу тока 10 А. Определите мгновенное значение напряжения через 1/300 с, если колебания тока происходят по закону косинуса. (*Ответ*: 35,5 В.)

Задачи на «5» баллов

1. Контур радиоприемника настроен на радиостанцию, частота которой 9 МГц. Как нужно изменить емкость переменного конденсатора колебательного контура приемника, чтобы он был настроен на длину волны 50 м? (*Ответ*: Увеличить в 2,25 раза.)

2. В колебательном контуре конденсатор емкостью 50 кФ заряжен до максимального напряжения 100 В. Определите резонансную частоту колебаний в контуре, если максимальная сила тока в контуре равна 0,2 А. Активное сопротивление равно нулю. (*Ответ*: 6,37 πГц.)

3. Сила тока изменяется по закону $i = 8,5 \cdot \sin(314t + 0,651)$. Определите действующее значение тока, его начальную фазу и частоту. Найдите ток в цепи при t_1 = 0,08 с и t_2 = 0,042 с. (*Ответ*: 5,02 А; 8,14 А.)

4. Резонанс в колебательном контуре с конденсатором емкостью 10^{-6} Ф наступает при частоте колебаний 400 Гц. Когда параллельно к конденсатору C_1 подключается другой конденсатор C_2, резонансная частота становится равной 100 Гц. Определите емкость C_2. Сопротивлением контура пренебречь. (*Ответ:* 15 мкФ.)

Задачи повышенной сложности

1. Радиолокатор работает на волне 15 см и дает 4000 импульсов в секунду. Длительность каждого импульса 2 мкс. Сколько колебаний содержится в каждом импульсе и какова наибольшая глубина разведки локатора? (*Ответ*: 37,5 км; 4000.)

2. Заряженный конденсатор замкнут на катушку индуктивности. Через какое время (в долях периода) после подключения энергия в конденсаторе окажется равной энергии в катушке индуктивности? (*Ответ:* $t = \frac{1}{8}T$.)

III. Подведение итогов работы

Домашнее задание

п. 37–41.

Урок 43. Электрификация России

Цель: показать значение электрификации для развития и благополучия страны.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Проведение самостоятельной работы

I вариант

1. Какой ток называется переменным? (*Ток, у которого периодически изменяется величина и направление.*)

2. Виток вращается в однородном магнитном поле. Как расположены магнитные силовые линии относительно плоскости витка в момент вращения, когда ЭДС индукции равна нулю? (*Перпендикулярно плоскости витка.*)

3. От каких величин зависит максимальная ЭДС генератора? (*От числа витков обмотки, числа оборотов в единицу времени и величины площади витка магнитного поля.*)

4. От каких величин зависит частота генерируемого тока? (*От числа оборотов в единицу времени и пар магнитных полюсов.*)

5. Рамка вращается в магнитном поле, причем $\varepsilon_m = 4$ В. Какова ЭДС в рамке через $\frac{1}{4}T$, если при $t = 0$ нормаль к плоскости рамки параллельна линиям индукции поля? ($\varepsilon = 4$ *В.*)

6. Изменение ЭДС в рамке, которая вращается в магнитном поле, задано уравнением $l = 10\cos 200t$. Какова амплитуда ЭДС и собственная частота вращения рамки? ($\varepsilon_m = 10$ *В*; $\nu = \frac{100}{\pi}$ *Гц.*)

7. Как изменится ЭДС генератора, если число оборотов ротора увеличить в 2 раза? (*Увеличится в 2 раза.*)

8. Для чего используют в качестве ротора многополюсной электромагнит? (*Для получения тока высокой частоты (50 Гц) при малых оборотах.*)

9. Для питания обмотки ротора генератора переменного тока используют ... (*постоянный ток.*)

II вариант

1. Какое явление было использовано при устройстве генератора переменного тока? (*Явление электромагнитной индукции.*)

2. Виток вращается в однородном магнитном поле. Как расположены магнитные силовые линии относительно плоскости витка в момент времени, когда E_i имеет максимальное значение? (*Параллельно плоскости витка.*)

3. Изменение ЭДС в зависимости от времени для рамки, вращающейся в магнитном поле, задано уравнением $\varepsilon = 200\cos 100\pi t$. Каковы значения амплитуды и циклической частоты вращения рамки? (*ε_m = 200 В; ω = 100 π Гц.*)

4. Какое уравнение зависимости ЭДС от времени соответствует рисунку?

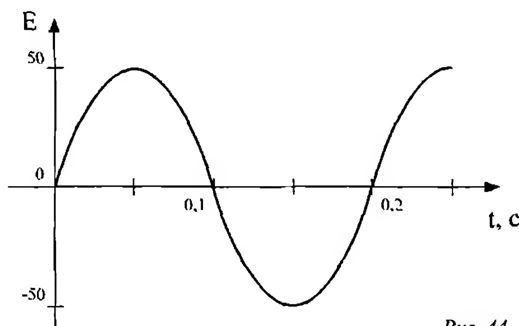


Рис. 44

(*E = 50 sin 10 π t.*)

5. Каково число витков в рамке площадью 1 м^2, вращающейся в однородном магнитном поле с частотой ν = 0,5 Гц. Индукция магнитного поля равна 1 Тл. Максимальная ЭДС в рамке 3,14 В. (*8 витков.*)

6. Согласно рисунку (см. рис. 44) определите число оборотов в единицу времени ротора генератора (ρ = 1 пара). (*5 C^{-1}.*)

7. Согласно рисунку (см. рис. 44) определите частоту тока. (*5 Гц.*)

8. Амплитудное значение ЭДС индукции во вращающейся рамке равно... (*$BS\omega$.*)

9. В больших промышленных генераторах ЭДС находится ... (*в статоре.*)

III. Изучение нового материала

Преимущества электроэнергии перед другими видами энергии заключается в том, что ее можно передавать по проводам на большие расстояния, распределять между потребителями, можно превращать в любые виды энергии. Преимущество переменного тока над постоянным заключается в том, что можно изменять силу тока и напряжение в очень широком пределе. Отсюда вывод: электрификация – показатель развития, благосостояния и мощи страны. Как же развивалась энергетика нашей страны?

1920–1921 гг. были периодом тотального кризиса российского общества. В европейской части России уже отгрохотала Гражданская война, переход к миру проходил в невероятно тяжелой обстановке. За годы войны страна потеряла больше четверти своего национального богатства. Национальный доход сократился от 11 млрд руб. в 1917 г. до 4 млрд в 1920 г. Объем валовой продукции уменьшился в 7 раз, добыча каменного угля и нефти была на уровне конца XIX века. Рабочие лишились средств к существованию. Из-за нехватки топлива прекратилось движение паровозов на тридцати железных дорогах страны. В селе тоже был кризис. Продукция сельского хозяйства составляла лишь половину довоенного объема. Население России сократилось больше чем на 10 млн человек.

Разработку плана электрификации России поручили Г.Н. Кржижановскому. Главная идея плана – обновить всю структуру производственных сил России, для чего было задумано создать обширную сеть крупных и мелких электростанций, связанных в единую энергетическую сеть.

Предполагалось, что крупные электростанции снабдят энергией фабрики и заводы, позволят реконструировать их техническую базу. Мелкие электростанции должны были принести свет в крестьянские избы, дать энергию мельницам.

План ГОЭЛРО закладывал фундамент для индустриализации и коллективизации сельского хозяйства, он разрабатывался в расчете на «сознательных» рабочих. Уже ближе к середине 30-х годов методы руководства сменились: план – любой ценой, невыполнение плана – вредительство, на место недоучившихся рабочих – даровая сила ГУЛАГА. Силами заключенных создавались Колымская ГЭС, ГЭС на Свири, Беломорканал, Западный и Восточный участок БАМа и многие другие объекты.

Как бы то ни было, но электрификация страны состоялась. Что же можно сказать об электроэнерготипе нашей страны. План ГОЭЛРО предполагал строительство электростанций, работающих на природных ископаемых. Но запасы угля, нефти и газа не бесконечны. Современная энергетика стремится использовать альтернативные виды энергии (ветроэлектростанции, гелиоэнергетика, энергетика на отходах).

В начале XXI века Россия снова переживает не лучшие времена. Сегодня страна строит рыночную экономику. Наряду со старыми проблемами (по-прежнему не хватает топлива, энергии) появляются новые, но Единая энергосистема России смогла сохранить то, что когда-то с большим трудом создавала вся страна. В условиях переходного периода можно надеяться только на мудрую политику зако-

нодательной и исполнительной власти. Тем более что Россия теперь не создает гигантские планы, наподобие ГОЭЛРО, а составляет только прогнозы на развитие тех или иных отраслей народного хозяйства.

Будущее нашей страны зависит от вас.

IV. Закрепление изученного материала

– Какова цель плана ГОЭЛРО? (*Сделать всю Россию «электрической».*)
– На чем должны были работать будущие станции? (*На природных ресурсах.*)
– Где предполагалось использовать электроэнергию? (*В промышленности, сельском хозяйстве.*)
– На какой основе должен базироваться план? Как это следует понимать? (*На наружной основе, то есть на строгом расчете.*)
– Какое условие необходимо для реализации плана? (*Привлечение масс рабочих и крестьян.*)

V. Подведение итогов урока

Глава 6. Механические волны

Урок 44. Распространение волн в упругой среде

Цели: познакомить учащихся с условиями возникновения волн и их видами; показать значение волн в жизни человека.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Анализ контрольной работы

III. Изучение нового материала

Демонстрация: Поперечные волны в шнуре, продольная и поперечная волна на модели, волны на поверхности воды.

Основной физической моделью вещества является совокупность движущихся и взаимодействующих между собой атомов, молекул.

Рассмотрим волновой процесс, то есть распространение колебаний, передачу колебаний, обусловленный тем, что смещенные участки среды связаны между собой, эта связь может быть обусловлена

силой упругости, возникшей в результате деформации среды при ее колебаниях.

В результате колебание, вызванное каким-либо образом в одном месте, влечет за собой последовательное возникновение колебаний в других местах, все более и более удаленных от первоначального, – и получается волна.

Механические волны имеют огромное значение в жизни человека. Распространение звуковых колебаний объясняется упругостью воздуха. Благодаря этому мы слышим. Круги, разбегающиеся от брошенного в воду камня, огромные океанские волны – это механические волны. Колебания в земной коре – сейсмические волны.

При распространении волны происходит передвижение формы, но не перенос вещества, в котором распространяется волна.

В зависимости от того, в каком направлении частицы совершают колебания по отношению к направлению перемещения волны, различают продольные и поперечные волны.

В продольной волне частицы совершают колебания в направлениях, совпадающих с перемещением волны. Такие волны возникают в результате сжатия – растяжения. Они распространяются в газах, жидкостях и твердых телах.

В поперечной волне частицы совершают колебания в плоскостях, перпендикулярных направлению перемещения волны. Такие волны – результат деформации сдвига. Распространяются лишь в твердых телах.

При распространении волны происходит передача движения от одного участка тела к другому. С передачей движения волной связана передача энергии без переноса вещества.

Например, в шнуре энергия складывается из кинематической энергии движения участков шнура и потенциальной энергии его упругой деформации.

IV. Повторение изученного

- Какие волны называются поперечными?
- Что называется волной?
- Какие волны называются продольными?
- Происходит ли в бегущей волне перенос вещества?
- В каких средах распространяются продольные и поперечные волны?

V. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 42; 43.

Дополнительное задание:

1) Бросьте два камня в ванну с водой. Понаблюдайте за процессом прохождения волн друг сквозь друга.

2) Прикройте стенку ванны полотенцем. Отражаются ли волны от полотенца, так же как они отражались от стенки? Как повлияет на отражение волн прикладывание к стенке других материалов, например, дерева, металла и т.д.

Сделайте вывод.

Урок 45. Стоячие волны

Цель: сформировать понятие стоячей волны.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение

1. Вопросы для повторения.
   - Какая волна называется гармонической?
   - Объясните возникновение сжатия и растяжения в продольных гармонических волнах.
   - Что такое длина волны?
   - По какой формуле вычисляется длина волны?
   - В чем суть поляризации?
   - Как определяется плоскость поляризации?

2. Фронтальная работа с классом.

Фронтальная лабораторная работа № 1
«Исследование отражения плоских волн»

Ход работы

Установите кювету с возбудителем плоской волны и стробоскопом. Поместите в кювету металлический брусок для отражения волн. Вы должны увидеть возникновение волн. Заметьте, что эти волны отражаются как плоские волны.

Положите лист белой бумаги на экран и зарисуйте эти волны, отметьте углы падения и отражения. Таким способом вы сможете убедиться, что угол падения волны равен углу ее отражения.

Фронтальная лабораторная работа № 2
«Исследование отражения сферических волн»

Ход работы

Замените возбудитель плоской волны шариком для образования сферических волн.

После отражения плоским отражателем волны имеют сферическую форму. Центром этих сферических волн будет точка, расположенная на том же расстоянии позади отражателя, как и волнообразователь перед отражателем. Это указывает на то, что расстояние до «изображения» позади отражателя равно расстоянию до предмета перед отражателем.

III. Изучение нового материала

Опыт: Возьмем резиновый шнур, один конец которого закреплен к стене. Взмахнув раз рукой, пошлем единичный импульс. По шнуру побежит волна, и, достигнув стенки, будет от нее отражаться.

В результате на любом участке шнура встречаются две волны, бегущие в противоположные стороны. Вызванные ими колебания складываются. Частоты этих колебаний одинаковы, а амплитуды почти одинаковые, затухание колебаний вдоль шнура не велико, но фазы их различны. Бегущая (незатухающая) волна и отраженная проходят различные пути по данному участку шнура. В результате амплитуда удваивается. Такие точки называются кучностями. Если в какой-нибудь точке складывать колебания с противоположными фазами, то точка остается в покое. Такие точки называются узлами. Узлы и кучности не перемещаются вдоль шнура. В результате распределение смещения точек шнура относительно их положений равновесия в любой момент времени образует волну, которая не перемещается в пространстве. Такая волна называется стоячей волной. Расстояние между соседними узлами (или кучностями) равно половине длины волны. В стоячей волне в среднем по времени не происходит переноса энергии. Энергия волны между двумя узлами остается неизменной. Совершается только превращение кинетической энергии в потенциальную и наоборот.

Стоячие волны могут получаться в телах любой формы, а не только в таких сильно удлиненных телах, как струна или шнур. Неподвижные места стоячей волны – ее узлы – представляют собой поверхности, рассекающие объем тела на участки, в середине которых наиболее сильные колебания.

Опыт: *Хладниевые фигуры*

Пластинку из дерева или стекла закрепляют к одной точке и засыпают песком. По краю проводят смычком, натертым канифолью. Песок сбрасывается с кучностей и собирается на узловых линиях. Вид фигур зависит от формы пластинки и места скрепленной точки, в какой месте проводить смычком, и где придерживать пластинку пальцами.

IV. Решение задач

Р – 435; Р – 438.

V. Подведение итогов урока

Домашнее задание

Р – 440; Р – 439.

Урок 46. Периодические волны

Цель: сформировать понятия «длина волны», «гармоническая волна», «поляризация».

Ход урока

I. Организационный момент

II. Проверка домашнего задания

– Назовите два фундаментальных способа передачи энергии и импульса в пространстве.
– Какой процесс называется волновым?
– Назовите условие распространения механической волны.
– Объясните процесс возникновения и распространения продольной волны в твердом теле и газе.
– Какая волна называется поперечной?
– В чем отличие отраженной поперечной волны в шнуре с закрепленными и незакрепленными концами?

III. Изучение нового материала

Эксперимент

Резиновый шнур, привязанный к стене. Если взмахнуть один раз рукой, произойдет короткое возмущение (одиночная волна). А что будет, если это движение руки будет повторяться?

Если возмущение среды вызывается периодической внешней силой, меняющейся со временем по гармоническому закону, то вызываемые ею волны называют гармоническими.

Важнейшей характеристикой волны является скорость ее распространения. Волны любой природы не распространяются в пространстве мгновенно, их скорость конечна. Волны на поверхности воды удобны для наблюдения по той причине, что скорость их распространения невелика.

Расстояние, на которое распространяются колебания за один период, называются длиной волны.

$$\upsilon = \lambda \nu \,;\; \upsilon = \frac{\lambda}{T}\,,$$

где λ – длина волны [м]; ν – частота [t^{-1}]; [Гц]; T – период [с].

Если создать поперечную волну в резиновом шнуре так, чтобы колебания быстро меняли свое направление в пространстве. Пропустили теперь шнур сквозь узкий деревянный ящик. Из колебаний всевозможных направлений ящик «выделит» колебания в одной определенной плоскости. Поэтому говорят: «из ящика вышли поляризованные волны».

Поляризация – упорядоченное направление колебаний частиц среды в волне.

Если на ее пути имеется еще точно такой же ящик, но повернутый относительно первого на 90°, то колебания проходят сквозь него же. Волна целиком гасится.

IV. Закрепление изученного материала

- Что называется периодом волны? Частотой? Длиной волны?
- Что принимают за скорость распространения волны?
- Напишите формулу, связывающую скорость распространения волны с длиной волны и частотой или периодом?

V. Решение задач

1. Расстояние между ближайшими гребнями волны в море 20 м. С какой скоростью распространяются волны, если период колебаний частиц в волне 100?

2. Рыболов заметил, что за 10 с поплавок совершает на волнах 20 колебаний, а расстояние между соседними горбами 1,2. Какова скорость распространения волн?

3. На озере в безветренную погоду с лодки бросили тяжелый якорь. От места бросания якоря пошли волны. Человек, стоящий на берегу, заметил, что волна дошла до него через 50 с, расстояние между соседними горбами волн 0,5 м, а за 5 с было 20 всплесков о берег. Как далеко от берега находится лодка?

VI. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 44–45.

Урок 47. Звуковые волны. Высота, тембр, громкость звука

Цель: сформировать понятие звуковой волны.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение материала

– Какая волна называется стоячей?
– Объясните процесс образования стоячей волны?
– Сформулируйте определение кучностей и узлов стоячей волны.
– Что такое первая гармоника собственных колебаний в струне и обертоны?

III. Изучение нового материала

Эксперимент № 1

Возьмите крепкую бечевку (60 см) и привяжите к ней в середине металлическую ложку. Концы бечевки привяжите к указательным пальцам. Оба конца должны иметь одинаковую длину. Заткните уши пальцами. Наклонитесь вперед, чтобы ложка свободно повисла и столкнулась с краем стола. Послышится звук, напоминающий звон. Почему?

Ответ: Ударяясь о стол, металл начинает колебаться. Эти колебания по бечевке передаются ушам. Мы слышим, потому что наши уши воспринимают различные колебания. Чтобы издавать звук предмет должен колебаться. Колебания от него передаются воздуху и распространяются в нем. Колеблющиеся молекулы воздуха ударяются о барабанную перепонку, из-за этого она тоже колеблется. Эти колебания идут дальше через костную ткань и жидкость в ухе, пока не доходят до слухового нерва, который посылает сигнал в мозг.

Эксперимент № 2

В колокол помещают электрический звонок и включают. Слышен звук. Начинают выкачивать воздух, по мере разрежения воздуха громкость становится меньше, пока звук становится совсем не слышен. Почему?

Ответ: Отсутствует среда, в которой распространяются колебания?

Вывод: Звук может распространяться в газах, жидкостях и твердых телах.

Звук обусловлен механическими колебаниями в упругой среде и телах (твердых, жидких и газообразных), частоты которых лежат в диапазоне от 16 Гц до 20 Гц и которые способно воспринимать человеческое ухо.

Раздел физики, изучающий звук – акустика. Любое тело (твердое, жидкое или газообразное), колеблющееся со звуковой частотой, создает в окружающей среде звук.

Эксперимент № 3

Перемешивание воды из одного сосуда в другой. Удар молотка по наковальне.

Чаще всего звуковые волны достигают наших ушей по воздуху. Но звук распространяется в воде и твердых телах. Нырнув с головой во время купания, можно услышать звук от удара двух камней, производимого на большом расстоянии. Хорошо проводит звук земля.

Звуковая волна представляет собой последовательность сжатий и разряжений упругой среды, распространяющихся с определенной скоростью. Волна эта – продольная.

Сжатие и разряжение воздуха вызывает колебания давления относительно среднего атмосферного давления ρ_0.

Громкости звука соответствует изменение давления $\Delta\rho$ на несколько десятков паскалей. Ухо человека воспринимает $\Delta\rho = 10^{-5}$ Па. Ухо весьма чувствительный прибор, наиболее чувствительно к колебаниям с частотой около 3500 Гц.

Звуковая волна подобно другим волнам распространяется с конечной скоростью. Если гроза далеко, то запаздывание грома достигает нескольких секунд.

Скорость звука в воздухе при температуре 0 °С равна 331 м/с; скорость звука в воде при температуре 8 °С равна 1435 м/с; при температуре 15 °С равна 4980 м/с.

Физические характеристики звука

1. Звуковое давление, оказываемое звуковой волной на стоящее перед ней препятствие.

2. Спектр звука – разложение сложной звуковой волны на составляющие ее частоты.

3. Интенсивность звуковой волны:

$$I = \frac{W}{St},$$

где S – площадь поверхности;

W – энергия звуковой волны;

t – время.

$$I = \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}\right].$$

4. Громкость.

Как и высота, связана с ощущением, возникающим в сознании человека, а также с интенсивностью волны.

Человеческое ухо способно воспринимать звуки интенсивностью от 10^{-12} (порог слышимости) до 1 Вт/м^2 (порог болевого ощущения).

Громкость не является прямо пропорциональной величиной интенсивности.

Уровень громкости выражается в белах:

$$A = \lg \frac{I}{I_0}.$$

$I_0 = 10^{-12}$ Вт/м^2 – порог слышимости.

5. Высота звука зависит от частоты колебаний: чем больше частота, тем выше звук.

6. Тембр звука – позволяет различать два звука одинаковой высоты и громкости, издаваемых различными инструментами. Он зависит от спектрального состава.

IV. Закрепление материала

– Что представляют собой звуковые волны?
– Что является источником звука?
– Какова частота и длина звуковой волны, воспринимаемой человеком?
– Как называются такие звуковые волны?

V. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 73, задачи на с. 347 (№ 1–3); № 4–5 по желанию.

Творческое задание: Предложите способ нахождения скорости звука в среде, используя доступное оборудование, проведите эксперимент.

п. 46; п. 47.

Урок 48. Решение экспериментальных задач

Цель: научить использовать теоретические знания на практике.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Решение задач

Задание № 1 (группа I)

Проведите по зубцам расчески листок картона или толстой бумаги сначала быстро, а затем медленно. Когда звук выше? От чего зависит высота звука? Почему вообще возникает звук?

Задание № 2 (Группа II)

Положите будильник на стол. Слышно ли его тиканье, если вы находитесь на расстоянии 1 м? Приложите уход к столу примерно на таком же расстоянии от будильника. Сравните слышимость в этом

случае. Повторите опыт, положив будильник на бумагу, вату, кусок ткани, блюдце. Запишите свои наблюдения и сделайте вывод о передаче звука различными телами.

Задание № 3 (группа III)

Рассмотрите через лупу поверхность грампластинки. Какой вид имеет звуковая бороздка? Почему? Если изменить скорость вращения диска, то изменится ли звучание грампластинки? Как и почему изменяется звук? Почему старая грампластинка звучит хуже? Зачем меняют иглу в электрофоне? Не вдаваясь в принцип записи на CD-диске, объясните преимущества.

Задание № 4 (группа IV)

Возьмите несколько пустых стеклянных бутылок разного размера. Ударьте по ним карандашом. Какие бутылки издают более высокий звук? Более низкий? Как вы можете это объяснить?

Возьмите несколько одинаковых бутылок и наполните водой до разного уровня. Постучите по ним карандашом. Когда звук выше?

Какой вывод можно сделать из проведенных опытов? Попробуйте что-нибудь сыграть.

Задание № 5

Исследуйте, при каком минимальном расстоянии возникает эхо. Способ определения придумайте самостоятельно. Проверьте его. Полезно или вредно оно для театрального, концертного или лекционного залов? Почему мы не слышим эхо в обычной жилой комнате?

III. Подведение итогов урока

Домашнее задание

Р – 442; Р – 443.

Урок 49. Волны. Решение задач

Цели: развитие навыков самостоятельной работы; отработка методов решения задач.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Проведение самостоятельной работы

Вариант I

1. Происходит ли перенос вещества и энергии при распространении бегущей волны в упругой среде? (*Ответ:* энергии – да; вещества – нет.)

2. Период колебания частиц воды равен 2 с, расстояние между смежными гребнями волн равно 6 м. Определите скорость распространения этих волн. (*Ответ:* 3 м/с.)

3. В чем отличие графика волнового движения от графика колебательного движения? (*Ответ:* график колебательного движения изображает положение одной и той же точки в различные моменты времени, а график волнового движения изображает различные точки среды в один и тот же момент времени.)

4. В каких упругих средах могут возникать поперечные волны? (*Ответ:* в твердых.)

5. От каких физических величин зависит частота колебаний волны? (*Ответ:* от частоты вибратора, возбуждающего колебания.)

6. От каких физических величин зависит скорость распространения волны? (*Ответ:* от среды, в которой распространяется, и от ее состояния.)

7. Чему равна разность фаз точек волны, отстающих друг от друга на расстоянии 50 см, если волна распространяется со скоростью 6 м/с при частоте 3 Гц? (*Ответ:* $\frac{\pi}{2}$.)

8. В одной и той же среде распространяются волны с частотой 5 Гц и 10 Гц. Какая волна распространяется с большей скоростью? (*Ответ:* скорости одинаковые.)

Вариант II

1. Расстояние между ближайшими гребнями волн равно 6 м. Скорость распространения волны 2 м/с. Какова частота ударов волн о берег? (*Ответ:* 3 Гц.)

2. Определите наименьшее расстояние между соседними точками, находящимися в одинаковых фазах, если волны распространяются со скоростью 100 м/с, а частота колебаний равна 50 Гц. (*Ответ:* 2 м.)

3. В каких средах могут возникать продольные волны? (*Ответ:* в твердых, жидких и газообразных.)

4. Происходит ли перенос вещества при распространении поперечной волны? (*Ответ:* нет.)

5. От каких физических величин зависит длина волны в одинаковых средах? (*Ответ:* от частоты вибратора.)

6. Определите длину волны, если фазовая скорость равна 1500 м/с, а частота колебаний равна 500 Гц. (*Ответ:* 5 м.)

7. Почему в твердых телах могут распространяться поперечные и продольные волны? (*Ответ:* в твердых телах при деформациях сдвига и сжатия возникают силы упругости.)

8. Две волны распространяются в одной и той же среде. Первая волна имеет длину 5 м, вторая – 10 м. Одинаковы ли частоты вибраторов, возбуждающих эти волны? (*Ответ:* частота первого вибратора больше в 2 раза.)

Вариант III

1. Рыболов заметил, что за $\tau = 10$ с поплавок совершил на воде $N = 20$ колебаний, а расстояние между соседними гребнями волны $\lambda = 1{,}2$ м. Найдите скорость υ распространения волны. (*Ответ:* $v = N\frac{\lambda}{\tau} = 2{,}4$ м/с.)

2. Определите длину λ звуковой волны в воде, вызываемой источником колебаний с частотой $\nu = 200$ Гц, если скорость звука в воде $\upsilon = 1450$ м/с. (*Ответ:* $\lambda = \frac{\upsilon}{\nu} = 7{,}25$ м.)

3. Звуковая волна частотой $\nu = 440$ Гц распространяется со скоростью $\upsilon = 330$ м/с. Найдите величину $\Delta\varphi$ разности фаз колебаний давления воздуха в двух точках, расстояние между которыми $d = 20$ см? (*Ответ:* $\Delta\varphi = 2\rho\frac{\nu d}{\upsilon} = \frac{2\pi}{3}$.)

4. В воде распространяются звуковые колебания частотой $\nu = 725$ Гц. Скорость звука в воде $\upsilon = 1450$ м/с. На каком расстоянии d находятся ближайшие точки, в окрестности которых частицы жидкости совершают противофазные колебания? (*Ответ:* $d = \frac{\upsilon}{2\nu} = 1$ м.)

5. Два когерентных точечных источника звука колеблются в одинаковых фазах. В точке, отстоящей от первого источника на $S_1 = 2$ м, а от второго – на $S_2 = 2{,}5$ м, звук не слышим. Определите максимальную частоту ν колебаний источников, которая лежит в слышимом человеком диапазоне от 16 Гц до 20000 Гц. Скорость звука в воздухе $\upsilon = 340$ м/с. (*Ответ:* рассматриваемое явление наблюдается при частотах $\nu_n = \left(n + \frac{l}{2}\right)\frac{\upsilon}{S_2 - S_1}$, n = 0,1, ..., искомая частота $\nu = \nu_{28} = 19380$ Гц.)

6. Емкость и индуктивность колебательного контура радиоприемника таковы, что при свободных колебаниях максимальный заряд конденсатора Q = 1 мкКа, а максимальный ток J = 10 А. В резонанс с

какой длиной волны λ настроен контур? Скорость электромагнитных волн в вакууме $C = 3 \cdot 10^8$ м/с. (*Ответ:* $\lambda = 2\pi c \frac{Q}{J} \approx 190$ м.)

7. Радиоприемник настроен на радиостанцию, работающую на длине волны $\lambda_1 = 25$ м. Во сколько раз *n* следует изменить емкость конденсатора колебательного контура радиоприемника, чтобы настроиться на длину волны $\lambda_1 = 31$ м? (*Ответ:* $\frac{C_2}{C_1} = \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)^2 \approx 1{,}54$.)

8. В каком диапазоне длины волн λ_1, λ_2 может работать радиоприемник, если емкость конденсатора в колебательном контуре приемника изменяется от $C_1 = 50$ пФ до $C_2 = 500$ пФ, а индуктивность L = 20 мкГн? Скорость электромагнитных волн в вакууме $C = 3 \cdot 10^8$ м/с. (*Ответ:* $\lambda_1 = 2\pi\sqrt{LC_1} \approx 60$ м; $\lambda_2 = 2\pi\sqrt{LC_2} \approx 190$ м.)

9. Емкость конденсатора колебательного контура радиоприемника изменяется от C_0 до 25 C_0. Емкость C_0 соответствует частоте собственных колебаний контура ν =70 Мгц. Определите наименьшую λ_{min} и наибольшую λ_{max} длины волн, на которые можно настроить такой контур. Скорость электромагнитных волн в вакууме $C = 3 \cdot 10^8$ м/с. (*Ответ:* $\lambda_{min} = \frac{C}{\nu} \approx 4{,}3$ м; $\lambda_{max} = \frac{C}{\nu} \approx 21{,}4$ м.)

III. Подведение итогов работы

Домашнее задание

п. 54.

Р – 991; Р – 992.

Урок 50. Контрольная работа по теме «Механические и звуковые волны»

Цель: выявить знания учащихся по теме «Механические и звуковые волны»

Ход урока

I. Организационный момент

II. Проведение контрольной работы

Вариант I

1. Какие из перечисленных ниже волн не являются механическими?

А. Волны на воде.

Б. Звуковые волны.

В. Световые волны.

Г. Волны в шнуре.

Д. Волны, создаваемые встающими на трибунах болельщиками.

2. Прямой и отраженный импульсы перемещаются навстречу по веревке симметрично относительно отрезка АВ (рис. 45). Какова форма веревки в момент, когда оба импульса будут находиться на отрезке АВ?

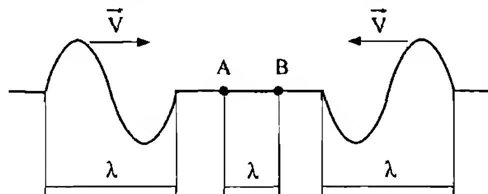
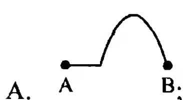


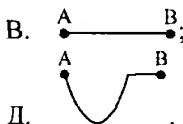
Рис. 45

А. 
;

Б. 
;

В. 
;

Г. 
;

Д. 
.

3. Отношение амплитуд двух волн 1:2, энергии волн относятся друг к другу как ... ...

А. 1:2.

Б. 1:4.

В. 1:8.

Г. 1:16.

Д. 2:1.

4. Какова скорость распространения волны, если длина волны 2 м, а частота 200 Гц?

А. 100 м/с.

Б. 200 м/с.

В. 300 м/с.

Г. 400 м/с.

Д. 500 м/с.

5. Уровень интенсивности звука в кабине автомобиля 70 дБ. Какова интенсивность звука в кабине?

А. 10^{-5} Вт/м^2.

Б. 10^{-6} Вт/м^2.

В. 10^{-7} Вт/м^2.

Г. 10^{-8} Вт/м^2.

Д. 10^{-9} Вт/м^2.

Вариант II

1. В струне возникает стоячая волна. Длина падающей и отраженной волны λ. Каково расстояние между соседними узлами?

А. $\lambda/4$.

Б. $\lambda/2$.

В. λ.

Г. 2λ.

Д. 4λ.

2. Прямой и отраженный импульсы перемещаются навстречу по веревке симметрично относительно точки K (рис. 46). Какую форму имеет веревка в момент времени, когда точки A и B оказываются в точке K?

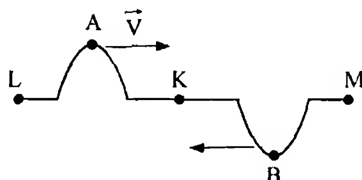


Рис. 46

А. L K M; Б. L K M;

В. L K M; Г. L M;

Д. L K M.

3. Какую форму будет иметь веревка из задачи № 2 после прохождения импульсами точки K?

А. L M; Б. L M;

В. L M; Г. L M;

Д. L M.

4. Частота звуковой волны 800 Гц. Скорость звука 400 м/с. Найдите длину волны.

А. 0,5 м.
Б. 1 м.
В. 1,5 м.
Г. 2 м.
Д. 2,5 м.

5. Уровень интенсивности звука в библиотеке 30 дБ. Какова интенсивность звука в библиотеке?

А. 10^{-10} Вт/м^2.
Б. 10^{-9} Вт/м^2.
В. 10^{-8} Вт/м^2.
Г. 10^{-7} Вт/м^2.
Д. 10^{-6} Вт/м^2.

Ответы к контрольной работе:

	Номер вопроса и ответ				
	1	2	3	4	5
Вариант 1	В	В	Б	Г	А
Вариант 2	Б	Г	Г	А	Б

III. Подведение итогов урока

Глава 7. Электромагнитные волны

Урок 51. Электромагнитное поле

Цель: сформулировать понятие «электромагнитное поле».

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение

– Какие взаимодействия называют электромагнитными?
– Что такое электрический заряд?
– Перечислите свойства электрического заряда.
– В чем сходство и отличие электрического заряда и гравитационной массы?
– Как называется единица электрического заряда?
– Чему равно значение элементарного заряда?
– Сформулируйте закон сохранения электрического заряда.

III. Анализ эксперимента

Возьмите маленький рыхлый кусочек ваты массой 3–5 мг. Хорошо наэлектроризуйте полиэтиленовую расческу о чистые волосы или эбонитовую палку и опустите на нее ватку. Она притянется и наэлектроризуется. Рывком палки в сторону оторвите ватку и быстро поднесите палку под ватку, а далее можно управлять ее движением. Почему она плавает в воздухе?

IV. Изучение нового материала

Покоящийся заряд создает только электрическое поле. Заряд покоится лишь относительно определенной системы отсчета. Относительно других систем отсчета он будет двигаться и, следовательно, создавать магнитное поле. Магнит, лежащий на столе, создает магнитное поле. По движению относительно его наблюдатель обнаруживает и электрическое поле. И так, электрические и магнитные поля – проявления единого целого электромагнитного поля.

В каждой точке пространства и в каждый момент времени состояние электромагнитного поля характеризуется двумя векторами – вектором электрического поля $\vec{E}$ и вектором магнитного поля $\vec{B}$:

$\vec{E}$ – электрическая напряженность;

$\vec{B}$ – магнитная индукция.

$\vec{E}$ и $\vec{B}$ – силовые характеристики электромагнитного поля.

Единица электрической напряженности:

$$\vec{E}\ [\text{Н/Кл}];\ \vec{E} = \frac{\vec{F}_э}{q}.$$

Единица магнитной индукции:

$$\vec{B}\ [\text{Тл}]\ (\text{Тесла}).$$

Как же передается электрическое взаимодействие?

Если поместить два заряженных тела на небольшое расстояние друг от друга, а затем один из них привести в движение, то действие передается мгновенно на другое.

Перемещение заряда меняет электрическое поле вблизи него. Это переменное электрическое поле порождает переменное магнитное поле в соседних областях пространства. Переменное магнитное поле, в свою очередь, порождает переменное электрическое поле и т.д.

Перемещение заряда вызывает «всплеск» электрического поля, который распространяется, охватывая все большие и большие области окружающего пространства. Наконец, этот «всплеск» достигает второго заряда. Скорость распространения этого процесса равна скорости света в пустоте – 300.000 км/с.

V. Вопросы для закрепления

- Что называют электромагнитным полем?
- Могут ли электрические и магнитные поля существовать обособленно друг от друга?
- Что характеризует вектор $\vec{E}$? В каких единицах он измеряется?
- Что характеризует вектор $\vec{B}$? В каких единицах он измеряется?
- Почему утверждение, что в данной точке пространства существует только электрическое или только магнитное поле не является вполне определенным?

VI. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 17.

Урок 52. Электромагнитные волны

Цель: рассмотреть гипотезу Максвелла.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение, проверка домашнего задания

- Что такое трансформатор?
- Каким способом можно уменьшить энергетические потери в линии электропередачи?
- Опишите принцип действия трансформатора?
- В каком случае трансформатор повышает напряжение, а в каком понижает его?

III. Анализ эксперимента

Эксперимент 1

Универсальный трансформатор с катушками на 220 В и 12 В. Катушку на 12 В подвесьте к динамометру и замкните накоротко. Отметьте показания динамометра. Включите катушку на 220 В в сеть переменного тока. При этом меньшая катушка приподнимется, а показания динамометра уменьшатся. Объясните наблюдаемое явление. (*Ответ:* При замыкании вторичной катушки трансформатора накоротко, в ней возникает индукционный ток, который по правилу Ленца имеет противоположное направление относительно тока первичной цепи. Противоположные токи при взаимодействии отталкиваются, поэтому показания динамометра уменьшаются.)

Эксперимент 2

Катушку трансформатора на 220 В с сердечником без ярма включите в сеть. Рядом с зазором 3–5 см расположите вторую катушку на 120 В также с сердечником без ярма, но с вольтметром:

1. Первую катушку включите в сеть. Почему вольтметр показывает напряжение? (*Ответ:* Катушки связаны индуктивно. Магнитное поле первой катушки наводит ЭДС индукции во второй, что и отмечает вольтметр.)

2. В зазор между катушками внесем лист жести. Почему резко уменьшаются показания вольтметра? (*Ответ:* Жесть частично экранирует вторую катушку.)

3. Вместо жести в зазор поместите лист латуни. Почему уменьшаются показания вольтметра? (*Ответ:* В латуни возникают точки Фуко, на что расходуется часть энергии.)

IV. Изучение нового материала

Переменное магнитное поле порождает электрическое поле с замкнутыми силовыми линиями. Чем быстрее меняется магнитная индукция, тем больше напряженность электрического поля. При возрастании магнитной индукции $\frac{\Delta B}{\Delta t} > 0$ направление напряженности образует левый винт с направлением вектора $\vec{B}$.

Магнитное поле порождает электрическое. Но может ли переменное электрическое поле в свою очередь порождать магнитное?

Максвелл допустил, что такой процесс реально происходит. Когда электрическое поле изменяется со временем, оно порождает магнитное поле. Но только при возрастании напряженности электрического поля $\frac{\Delta B}{\Delta t} > 0$ направление вектора индукции $\vec{B}$ возникающего магнитного поля образует правый винт с направлением вектора $\vec{E}$.

Отсюда Максвелл заключил, что в природе могут существовать электромагнитные волны.

Если в проводнике изменить силу тока, индукция магнитного поля изменяется. Переменное магнитное поле создает изменяющееся электрическое. Электрическое поле порождает переменное магнитное поле, которое, в свою очередь, снова порождает электрическое и т. д. Возникает система взаимно перпендикулярных изменяющихся электрических и магнитных полей, захватывающих все большие и большие области пространства.

Распространяющиеся в пространстве возмущения электромагнитного поля называют электромагнитными волнами.

Скорость, с которой распространяется возмущение электромагнитного поля, называется скоростью электромагнитной волны:

$$\vartheta = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0 \varepsilon \mu}};$$

$$\upsilon = \lambda \nu,$$

где λ – длина волны [м]; ν – частота [$с^{-1}$] [Гц].

Электромагнитные волны излучаются колеблющимися зарядами. При этом скорость движения таких зарядов меняется со временем, т. е. они движутся с ускорением.

Наличие ускорения – главное условие излучения электромагнитных волн.

Векторы $\vec{E}$ и $\vec{B}$ в электромагнитной волне перпендикулярны друг другу и перпендикулярны направлению распространения. Электромагнитная волна поперечна.

Максвелл был глубоко убежден в реальности электромагнитных волн, но он не дожил до их экспериментального обнаружения. Лишь через 10 лет после его смерти электромагнитные волны были экспериментально получены Герцем.

V. Закрепление материала

– Что называют электромагнитной волной?
– Что является источником электромагнитных волн?
– Какова скорость распространения электромагнитных волн в воздухе?
– Как ориентированы векторы $\vec{E}$ и $\vec{B}$ в электромагнитной волне?

VI. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 48.

Урок 53. Открытие электромагнитных волн

Цель: рассмотреть свойства электромагнитных волн.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение изученного

– В чем состоит гипотеза Максвелла?
– Опишите процесс возникновения электромагнитной волны.
– Что такое электромагнитная волна?
– От чего зависит скорость электромагнитной волны?

III. Проведение самостоятельной работы

1. Что такое электромагнитные волны?

А. Распространяющееся в пространстве переменное магнитное поле.

Б. Распространяющееся в пространстве переменное электрическое поле.

В. Распространяющееся в пространстве переменное электромагнитное поле.

2. Каковы основные положения теории электромагнитного поля Максвелла?

А. При всяком изменении электрического поля возникает вихревое магнитное поле, распространяющееся со скоростью света.

Б. При всяком изменении магнитного поля возникает переменное вихревое электрическое поле, распространяющееся в окружающем пространстве со скоростью света.

В. При всяком изменении магнитного поля возникает вихревое электрическое поле, у которого вектор напряженности:

$$\vec{E} = \frac{\Delta \vec{B}}{\Delta t}.$$

При изменении электрического поля возникает магнитное поле, у которого вектор индукции:

$$\vec{B} = \frac{\Delta \vec{E}}{\Delta t}$$

распространяется в окружающем пространстве со скоростью света.

3. Как в воздухе изменится длина электромагнитных волн, излучаемых колебательным контуром, если емкость колебательного контура увеличить в 4 раза:

А. Уменьшится в 4 раза.

Б. Увеличится в 2 раза.

В. Увеличится в 4 раза.

4. Какова взаимная ориентация векторов $\vec{B}$, $\vec{E}$, $\vec{\upsilon}$?

А. Все три вектора взаимно перпендикулярны.

Б. Вектор $\vec{B}$ совпадает с вектором $\vec{E}$ и перпендикулярен вектору $\vec{\upsilon}$.

В. Вектор $\vec{B}$ совпадает с вектором $\vec{\upsilon}$, но перпендикулярен вектору $\vec{E}$.

5. Определите частоту колебаний электромагнитных волн в вакууме, если длина их равна 2 см.

А. $0{,}7\cdot10^6$ Гц.

Б. $6\cdot10^6$ Гц.

В. $1{,}5\cdot10^6$ Гц.

6. Как должна двигаться заряженная частица, чтобы возникло электромагнитное излучение?

А. С постоянной скоростью.

Б. Находиться в покое.

В. Двигаться с ускорением.

7. Можно ли выбрать систему отсчета, в которой обнаружилась бы только магнитная составляющая $\vec{B}$?

А. Нельзя.

Б. Можно, если система будет двигаться с такой же скорость, что и электрон.

В. Можно, если система будет двигаться со скоростью большей скорости электрона.

(*Ответы:* 1) В; 2) В; 3) Б; 4) А; 5) В; 6) В; 7) А.)

IV. Изучение нового материала

1. Рассказ учителя.

Электромагнитная волна образуется благодаря взаимной связи переменных электрических и магнитных колебаний. Чем быстрее меняется со временем магнитная индукция, тем больше напряженность возникающего электрического поля, и наоборот. Для образования интенсивных электромагнитных волн необходимы электромагнитные колебания достаточно высокой частоты. Их можно получить с помощью колебательного контура.

Г. Герц для построения электромагнитных волн использовал устройство, которое сейчас называют вибратором Герца. (Представляет собой открытый колебательный контур.)

Для возбуждения колебаний в таком контуре провод разрезают по середине, оставляя небольшой воздушный промежуток. Обе части провода заряжали до высокой разности потенциалов, когда разность потенциалов превышала некоторое предельное значение. При этом проскакивала искра, цепь замыкалась, и в открытом контуре возникали колебания. Они затухали, так как у контура есть активное сопротивление, и вибратор, излучая электромагнитную волну, терял энергию.

Электромагнитные волны регистрировались с помощью вибратора (резонатора), представляющего собой такое же устройство, как и излучающий вибратор. Под действием переменного электрического поля электромагнитные волны в приемнике возбуждали колебания тока. Если собственная частота приемника совпадала с частотой

электромагнитной волны, наблюдался резонанс. Колебания в результате происходили с большой амплитудой при расположении его параллельно излучающему вибратору.

Г. Герц обнаружил эти колебания, наблюдая искорки в очень маленьком промежутке между проводниками приемника вибратора. Герц не только получил электромагнитные волны, но и обнаружил, что они ведут себя подобно другим видам волн.

2. Демонстрация свойств электромагнитных волн при помощи СВЧ-генератора.

Электромагнитные волны излучаются рупорной антенной в направлении оси рупора. Приемная антенна в виде такого же рупора улавливает волны, которые распространяются вдоль оси.

Можно продемонстрировать:

1. Поглощение электромагнитных волн.
2. Отражение.
3. Преломление.
4. Поперечность.

Электромагнитные волны обладают рядом важных свойств:

1. Излучаются ускоренно движущимися зарядами, причем $E \sim a$.
2. Электромагнитные волны могут распространяться не только в различных средах, но и в вакууме.
3. Скорость в вакууме: $\upsilon_{вак} = \dfrac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} \approx 3 \cdot 10^8$ м/с – совпадает со скоростью света.
4. Скорость электромагнитных волн в веществе ниже, чем скорость в вакууме.
5. При переходе электромагнитной волны из одной среды в другую, частота волны не изменяется.
6. Электромагнитные волны могут поглощаться веществом.
7. Преломляются и отражаются. (Демонстрация.)
8. Электромагнитная волна поперечна. (Демонстрация.)
9. Плотность электрического поля в электромагнитной волне равна плотности магнитного поля.
10. Плотность энергии электромагнитного поля в распространяющейся в вакууме волне пропорциональна квадрату электрической напряженности: $W = W_{эл} + W_{м} = \varepsilon_0 E^2$.
11. Интенсивность электромагнитной волны пропорциональна среднему квадрату напряженности электрического поля в волне: $I = c\varepsilon_0 \overline{E}^2$.

12. Интенсивность пропорциональна четвертой степени ее частоты: $I \approx \upsilon^4$.

V. Вопросы для закрепления

– Что является источником электромагнитных волн?
– Что является излучателем электромагнитных волн?
– Как устроен вибратор Герца, каков принцип его работы?
– Какова скорость распространения электромагнитных волн в воздухе?
– Перечислите основные свойства электромагнитных волн.

VI. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 49, 50.
Р – 986.

Дополнительный материал

Генрих Рудольф Герц

Генрих Рудольф Герц (1857–1894) родился 22 февраля в Гамбурге, в семье адвоката, ставшего позднее сенатором. Учился Герц прекрасно и был непревзойденным по сообразительности учеником. Он любил все предметы, любил писать стихи и работать на токарном станке. К сожалению, всю жизнь Герцу мешало слабое здоровье.

В 1875 году после окончания гимназии Герц поступает в Дрезденское, а затем в Мюнхенское высшее техническое училище. Дело шло хорошо до тех пор, пока изучались предметы общего характера. Но как только началась специализация, Герц изменил свое решение. Он более не желает быть узким специалистом, он рвется к научной работе и поступает в Берлинский университет. Герцу повезло: его непосредственным наставником оказался Гельмгольц. Хотя знаменитый физик был приверженцем теории дальнодействия, но как истинный ученый он безоговорочно признавал, что идеи Фарадея – Максвелла о близкодействии и физическое поле дают прекрасное согласие с экспериментом.

Попав в Берлинский университет, Герц с большим желанием стремится к занятиям в физических лабораториях. Но к работе в лабораториях допускались лишь те студенты, которые занимались решением конкурсных задач. Гельмгольц предложил Герцу задачу из области электродинамики: обладает ли ток кинетической энергией? Гельмгольц хотел направить силы Герца в область электродинамики, считая ее наиболее запутанной.

Герц принимается за решение поставленной задачи, рассчитанной на 9 месяцев. Он сам изготовляет приборы и отлаживает их. При работе над первой проблемой сразу же выяснились заложенные в Герце черты исследователя: упорство, редкое трудолюбие и искусство экспериментатора. Задача была решена за 3 месяца. Результат, как и ожидалось, был отрицательным. (Сейчас нам ясно, что электрический ток, представляющий собой направленное движение электрических зарядов (электронов, протонов), обладает

кинетической энергией. Для того чтобы Герц мог обнаружить это, надо было повысить точность его эксперимента в тысячи раз.) Полученный результат совпал с точкой зрения Гельмгольца, хотя и ошибочной, но в способностях молодого Герца он не ошибся. «Я увидел, что имел дело с учеником совершенно необычного дарования» – отмечал он позднее. Работа Герца была удостоена премии.

Вернувшись после летних каникул 1879 года, Герц добился разрешения работать над другой темой: «Об индукции во вращающихся телах», взятой в качестве докторской диссертации. Он предполагал завершить ее за 2–3 месяца, защитить и поскорее получить звание доктора, хотя университет еще не был закончен. Работая с большим подъемом и воодушевлением, Герц быстро закончил исследование. Защита прошла успешно, и ему присудили степень доктора «с отличием» – явление исключительно редкое, тем более для студента.

С 1883 по 1885 год Герц заведовал кафедрой теоретической физики в провинциальном городке Киле, где совсем не было физической лаборатории. Герц решил заниматься здесь теоретическими вопросами. Он корректирует систему уравнения электродинамики одного из ярких представителей дальнодействия Неймана. В результате этой работы Герц написал свою систему уравненнй, из которой легко получалось уравнение Максвелла. Герц разочарован, ведь он пытался доказать универсальность электродинамической теории представителей дальнодействия, а не теории Максвелла. «Данный вывод нельзя считать доказательством максвелловской системы как единственно возможной», – делает он для себя, по существу, успокаивающий вывод.

В 1855 году Герц принимает приглашение технической школы в Карлсруэ, где будут проведены его замечательные опыты по распространению электрической силы. Еще в 1879 году Берлинская академия наук поставила задачу: «Показать экспериментальное наличие какой-нибудь связи между электродинамическими силами и диэлектрической поляризацией диэлектриков». Предварительные подсчеты Герца показали, что ожидаемый эффект будет очень мал даже при самых благоприятных условиях. Поэтому, видимо, он и отказался от этой работы осенью 1879 года. Однако он не переставал думать о возможных путях ее решения и пришел к выводу, что для этого нужны высокочастотные электрические колебания.

Герц тщательно изучил все, что было известно к этому времени об электротехнических колебаниях и в теоретическом, и в экспериментальном планах. Найдя в физическом кабинете технической школы пару индукционных катушек, и проводя с ними лекционные демонстрации, Герц обнаружил, что с их помощью можно было получить быстрые электрические колебания с периодом 10–8 с. В результате экспериментов Герц создал не только высокочастотный генератор (источник высокочастотных колебаний), но и резонатор – приемник этих колебаний.

Генератор Герца состоял из индукционной катушки и присоединенных к ней проводов, образующих разрядный промежуток, резонатор – из провода прямоугольной формы и двух шариков на его концах, также образующих разрядный промежуток. В результате проведенных опытов Герц обнаружил, что если в генераторе будут происходить высокочастотные колебания (в его

разрядном промежутке проскакивала искра), то в разрядном промежутке резонатора, удаленном от генератора даже на 3 метра, тоже будут проскакивать маленькие искры. Таким образом, искра во второй цепи возникала без всякого непосредственного контакта с первой цепью. Каков же механизм ее передачи? Или это электрическая индукция, согласно теории Максвелла? В 1887 году Герц пока ничего еще не говорит об электрических волнах, хотя уже и заметил, что явление генератора на приемник особенно сильно в случае резонанса (частота колебаний генератора совпадает с собственной частотой резонатора).

Проведя многочисленные опыты при различных взаимных положениях генератора и приемника, Герц приходит к выводу о существовании электромагнитных волн, распространяющихся с конечной скоростью. Будет ли волна вести себя как свет? И Герц проводит тщательную проверку этого предположения. После изучения законов отражения и преломления, после установления поляризации и измерения скорости электромагнитных волн он доказал их полную аналогичность со световыми. Все это было изложено в работе «О лучах электрической силы», вышедшей в декабре 1888 года. Этот год считается годом открытия электромагнитных волн и экспериментального подтверждения теории Максвелла. В 1889 году, выступая на съезде немецких естествоиспытателей, Герц говорил: « Все эти опыты очень просты в принципе, тем не менее, они влекут за собой важнейшие исследования. Они рушат всякую теорию, которая считает, что электрические силы перепрыгивают пространство мгновенно. Они означают блестящую победу теории Максвелла. Насколько маловероятным казалось ранее ее воззрение на сущность света, настолько трудно теперь не разделить это воззрение».

Напряженная работа Герца не прошла безнаказанно для его и без того слабого здоровья. Началось общее заражение крови, от которого и скончался знаменитый уже в свои 37 лет ученый Генрих Герц.

Герц завершил огромный труд, начатый Фарадеем. Если Максвелл образовал представления Фарадея в Математические образы, то Герц превратил эти образы в видимые и слышимые электромагнитные волны, ставшие ему вечным памятником. Мы помним Г. Герца, когда слушаем радио, смотрим телевизор. И не случайно первыми словами, переданными русским физиком А. С. Поповым по первой беспроволочной связи были: «Генрих Герц».

Урок 54. Создатели беспроводной связи. Радио

Цель: изучить техническую систему радио.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение

– Что называется электромагнитной волной?
– Что является источником электромагнитных волн?

– Как должны двигаться частицы, чтобы они излучали электромагнитные волны?
– Начертите схему и объясните принцип действия открытого колебательного контура.
– Как устроен вибратор Герца?
– Каков принцип работы вибратора Герца?

III. Изучение нового материала

Беспроволочная телеграфия (так первоначально именовалась радиосвязь) являлась одним из величайших изобретений в истории науки и техники.

Изобретение радио – это пример превращения науки в непосредственную производительную силу.

К 1895 г. телеграфные провода уже опоясали весь Земной шар, их протянули даже по дну океанов. Полтора миллиона телефонов было к концу века только в США. Но основные затраты при строительстве новых линий связи были определены стоимостью кабелей, средством передачи информации являлся электрический ток. На сооружения связи уходили целые горы металлов. Идея осуществления связи без проводов уже носилась в воздухе.

Любое изобретение делается на основе научных открытий.

• Фарадей открыл явление электромагнитной индукции.

• Дж. Максвелл создал теорию электромагнитного поля.

• Г. Герц экспериментально доказал существование электромагнитных волн.

• Э. Бранли сконструировал индикатор электромагнитных волн (радиокондуктор). Изучая свойства металлических порошков реагировать на электрические разряды, провел опыт: на изолированную подставку положил две несоприкасающиеся металлические пластинки, поверх которых насыпал горку железных опилок, так чтобы концы пластинок были покрыты. Между пластинками последовательно включил электрический звонок. Так как сопротивление опилок большое – звонок не звонил. Однако при воздействии электромагнитной волны, например от возникшей неподалеку искры, сопротивление опилок резко падало.

(Демонстрация опыта Бранли.)

• Н. Тесла предлагает антенну для передатчика.

• О. Лодж. Совершенствует прибор Бранли.

Резкое уменьшение сопротивления опилок связано с их спеканием. Когда ток большой – звуковой сигнал есть, но на новый сигнал уже нет никакой реакции.

О. Лодж предложил простое встряхивание. Для регулярного встряхивания использовался часовой механизм, постукивающий конструкцию молотком, названный когерером.

А. С. Попов предложил собственную конструкцию когерера. Стеклянную трубку, вдоль внутренних стенок которой на расстоянии 2 мм друг от друга приклеивались полоски платины, поверх насыпались металлические опилки. Труба затыкалась с двух сторон. Встряхивать когерер после каждого сигнала приходилось автоматическим молоточком звонка.

Приемник снабжался антенной в виде вертикального провода длиной 2,5 м – это регистрирующий сигнал.

Ход событий

А. С. Попов:

• 1895 г. – передача радиосигнала на 60 м (ранняя волна);

• 1895 г. 7 мая (25 апреля) – продемонстрирован первый в мире радиосеанс с передачей и приемом коротких и длинных сигналов на заседании Физического отделения Русского физико-химического общества;

• 1895 г. – А.С. Попов участвовал в работе Нижегородской ярмарки в качестве инженера-электротехника;

• 1895 г. (осень) – узнал об открытии К. Рентяна.

• 1896 г. (январь) – изготовил первую в России рентгеновскую трубку, с помощью которой жена Попова – врач – получила первый в отечественной медицинской практике рентгеновский снимок;

• 1896 г. (январь) – вышла статья по докладу 25 апреля 1895 г., где была подчеркнута практическая направленность прибора. Статья стала главным юридическим документом, который зафиксировал содержание и дату изобретения. (Там же было приведено описание.)

• 1896 г. 24 марта – впервые в мире осуществил радиосвязь на расстоянии 250 м, передав радиограмму азбукой Морзе «Генрих Герц»;

• 1897 г. (начало года) – осуществлена связь между кронштадтским берегом и кораблем на расстоянии 640 м;

• 1897 г. (лето) – связь на расстоянии 5 км;

• 1896–1897 гг. – под руководством А.С. Попова сконструированы первые военные приемно-передающие радиостанции с искровыми передатчиками;

• 1900 г. – занялся оснащением кораблей российского флота средствами связи в Кронштадте. Первый же обмен радиограммами со станциями позволил спасти большую группу рыбаков и оказать помощь броненосцу «Генерал-адмирал Апраксин», севшему на камни.

• 1900 г. – испытание походных армейских радиостанций в полевых условиях;

• 1900 г. (ноябрь–декабрь) – организованы радиотелефонные мастерские;

• 1901 г. – установка радиостанции на корабле Черноморской эскадры;

• 1901 г. – достигнута дальность радиосвязи до 1500 км;

• 1901 г. – выбран профессором Петербургского электротехнического института;

• 1905 г. – выбран директором Петербургского электротехнического института;

• 1906 г. 13 января – скоропостижно скончался.

***Г. Маркони*:**

• 1894 г. – знакомится с работами Герца и Бранли;

• 1895 г. – осуществил передачи сигнала в пределах «участка». Опыт проведен в усадьбе родителей;

• 1896 г. – привез проект в Англию, предложил использовать для передачи сигналов;

• 1897 г. – получил английский патент на «Систему передачи радиосигналов» и передал устойчивый сигнал через Бристольский канал (9 миль): организовал акционерное общество по распространению радио как средства связи;

• 1899 г. – осуществил связь на 50 км. Получил преимущество на оснащение кораблей. Дальность связи – 100 км;

• 1900 г. – предложил новую схему настройки, повысил дальность сигнала и точность. Связь – до 1000 км;

• 1901 г. – осуществлена связь через Атлантический океан;

• 1903 г. – дальность достигла 10.000 км;

• 1909 г. – вместе с профессором К.Ф. Брауном удостоен Нобелевской премии в области физики за расширение возможностей радиопередатчика;

• 1921 г. – впервые осуществил регулярную радиосвязь между Европой и Америкой;

• 1934 г. – стал президентом Итальянской академии наук;

• 1937 г. 20 июля умер.

Подробный доклад о работе Маркони сделал В. Прис, оказавший ему помощью в работах. Схема приемника Г. Маркони за исключением второстепенных деталей полностью повторяет схему А. С. Попова.

В 1895 г. А. С. Попов, за два года до выдачи патента Маркони, создал систему телеграфии без проводов, систему радиосвязи.

А. С. Попов после доклада В. Пирса об изобретении Г. Маркони направил статью в английский журнал «The Electrician», в которой описал свои работы и отметил, что приемник Маркони не отличается от его приемника, созданного в мае 1895 г.

Петербургская газета «Новое время» обвинила в «неуместной скромности» А. С. Попова, так как он мало писал о своем изобретении, но ученый был связан обязательством хранить тайну создаваемой им системы телеграфии без проводов для военного флота России.

В заключение ответьте на вопрос:

Так кто же изобрел радио?

IV. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 51.

Дополнительный материал

Русско-японская война стала местом боевого применения радиосвязи. В Цусимском сражении у японцев связь была намного эффективнее. А стало быть, эффективнее было управлять боевыми кораблями. Русские же практически потеряли связь в бою, что привело к потере управления и инициативы. В результате японский флот окружил эскадру России, расстрелял наши корабли поодиночке, и сражение закончилось разгромом российского флота.

Радиосвязь в этом сражении русскими почти не использовалась из-за недооценки ее роли командованием, что стало причиной неслаженных действий кораблей. Радисты русских кораблей перед входом в Цусимский пролив прослушивали работу японских корабельных радиостанций и могли своими передатчиками помешать ей, но командующий флотом адмирал З.П. Рождественский не разрешил этого сделать. Цусимское морское сражение, с одной стороны, указало на острую необходимость радиосвязи для управления боевыми действиями на море, с другой стороны, проиллюстрировало непонимание командованием роли радио и неумение им пользоваться. Разгром русского флота предопределил поражение России в Русско-японской войне. Он показал, что техника определяет тактику в военном деле.

Противники	**Россия**	**Япония**
Боевые корабли	30	131
Орудия	228	910
Связь	Флажки, фонарики, сигнальные факелы	В основном, радиосвязь

Распространение радиоволн

Самый простой случай – это распространение радиоволны в свободном пространстве. Уже на небольшом расстоянии от радиопередатчика его можно считать точкой. А если так, то фронт радиоволны можно считать сферическим. Если мы проведем мысленно несколько сфер, окружающих радио-

передатчик, то станет ясно, что при отсутствии поглощения энергия, проходящая через сферы, будет оставаться неизменной. Ну, а поверхность сферы пропорциональна квадрату радиуса. Значит, интенсивность волны, т. е. энергия, приходящаяся на единицу площади в единицу времени, будет падать по мере удаления от источника обратно пропорционально квадрату расстояния.

Конечно, это важное правило применимо в том случае, если не приняты специальные меры для того, чтобы создать узконаправленный поток радиоволн.

Существуют различные технические приемы для создания направленных радиолучей. Один из способов решения этой задачи состоит в использовании правильной решетки антенн. Антенны должны быть расположены так, чтобы посылаемые ими волны отправлялись в нужном направлении «горб к горбу». Для этой же цели используются зеркала разной формы.

Радиоволны, путешествующие в космосе, будут отклоняться от прямолинейного направления – *отражаться, рассеиваться, преломляться* – в том случае, если на их пути встретятся препятствия, соизмеримые с длиной волны и даже несколько меньшие.

Наибольший интерес представляет для нас поведение волн, идущих вблизи к земной поверхности. В каждом отдельном случае картина может быть весьма своеобразной, в зависимости от того, какова длина волны.

Кардинальную роль играют электрические свойства земли и атмосферы. Если поверхность способна проводить ток, то она не отпускает от себя радиоволны. Электрические силовые линии электромагнитного поля подходят к металлу (шире – к любому проводнику) под прямым углом.

Теперь представьте себе, что радиопередача происходит вблизи морской поверхности. Морская вода содержит растворенные соли, т. е. является электролитом. Морская вода – превосходный проводник тока. Поэтому она «держит» радиоволну, заставляет ее двигаться вдоль поверхности моря.

Но и равнинная, а так же лесистая местности являются хорошими проводниками для токов не слишком высокой частоты. Иными словами, для длинных волн лес и равнина ведут себя как металл.

Поэтому длинные волны удерживаются всей земной поверхностью и способны обогнуть земной шар. Кстати говоря, этим способом можно определить скорость радиоволн. Радиотехникам известно, что на то, чтобы обогнуть земной шар, радиоволна затрачивает 0.13 с. А как же горы? Ну что же, для длинных волн они не столь уж высоки, и радиоволна длиной в километр более или менее способна обогнуть гору.

Что же касается коротких волн, то возможность дальнего радиоприема на этих волнах обязана наличию над Землей ионосферы. Солнечные лучи обладают способностью разрушать молекулы воздуха в верхних областях атмосферы. Молекулы превращаются в ионы и на расстоянии 100-300 км от земли образуют несколько заряженных слоев. Так что для коротких волн пространство, в котором движется волна, – это слой диэлектрика, зажатого между двумя проводящими поверхностями.

Поскольку равнинная и лесистая поверхности не являются хорошими проводниками для коротких волн, то они не способны их удержать. Корот-

кие волны отправляются в свободное путешествие, но натыкаются на ионосферу, отражающую их, как поверхность металла.

Ионизация ионосферы не однородна и, конечно, различна днем и ночью. По этому пути коротких радиоволн могут быть самыми различными. Они могут добраться до вашего радиоприемника и после многократных отражений с Землей и ионосферой. Судьба короткой волны зависит от того, под каким углом попадает она на ионосферный слой. Если этот угол близок к прямому, то отражение не произойдет и волна уйдет в мировое пространство. Но чаще имеет место полное отражение и волна возвращается на Землю.

Для ультракоротких волн ионосфера прозрачна. Поэтому на этих длинах волн возможен радиоприем в пределах прямой видимости или с помощью спутников. Направляя волну на спутник, мы можем ловить отраженные от него сигналы на огромных расстояниях.

Спутники открыли новую эпоху в технике радиосвязи, обеспечив возможность радиоприема и телевизионного приема на ультракоротких волнах.

Интересные возможности предоставляет передача на сантиметровых, миллиметровых и субмиллиметровых волнах. Волны этой длины могут поглощаться атмосферой. Но, оказывается, имеются «окна», и, подобрав нужным образом длину волны, можно использовать волны, залезающие в оптический диапазон. Ну, а достоинства этих волн нам известны: в малый волновой интервал можно «вложить» огромное число неперекрывающихся передач.

С учетом особенностей распространения, генерации и (отчасти) излучения весь диапазон радиоволн принято делить на ряд меньших диапазонов: сверхдлинные волны, длинные волны, средние волны, короткие волны, метровые волны, дециметровые волны, сантиметровые волны, миллиметровые волны и субмиллиметровые волны (табл. 1). Деление радиочастот на диапазоны в радиосвязи установлено международным регламентом радиосвязи (табл. 2). Все это официальные, четко отграниченные участки спектра.

В то же время термин «диапазон» в зависимости от контекста может применяться для обозначения какого-то произвольного участка радиоволн/радиочастот (например, «любительский диапазон», «диапазон подвижной связи», «диапазон low band», «диапазон 2,4 ГГц» и т. п.).

Таблица 1

Деление всего диапазона радиоволн на меньшие диапазоны

Название поддиапазона	Длина волны, м	Частота колебаний, Гц
Сверхдлинные волны, м	Более 10^4	Менее $3\cdot10^4$
Длинные волны, м	10^4–10^3	$3\cdot10^4$–$3\cdot10^5$
Средние волны, м	10^3–10^2	$3\cdot10^5$–$3\cdot10^6$
Короткие волны, м	10^2–10	$3\cdot10^6$–$3\cdot10^7$
Метровые волны, м	10–1	$3\cdot10^7$–$3\cdot10^8$
Дециметровые волны, дм	1–0,1	$3\cdot10^8$–$3\cdot10^{10}$
Сантиметровые волны, см	0,1–0,01	$3\cdot10^{10}$–$3\cdot10^{11}$
Миллиметровые волны, мм	0,01–0,001	$3\cdot10^{11}$–$3\cdot10^{12}$
Субмиллиметровые волны, мм	10^{+3}–$5\cdot10^{+5}$	...

Таблица 2.1

Диапазон радиочастот

Наименование диапазона		Границы диапазонов
основной термин	параллельный	
1-й диапазон частот	Крайне низкие КНЧ	3–30 Гц
2-й диапазон частот	Сверхнизкие СНЧ	30–300 Гц
3-й диапазон частот	Инфранизкие ИНЧ	0,3–3 КГц
4-й диапазон частот	Очень низкие ОНЧ	13–30 КГц
5-й диапазон частот	Низкие частоты НЧ	30–300 КГц
6-й диапазон частот	Средние частоты СЧ	10,3–3 МГц
7-й диапазон частот	Высокие частоты ВЧ	3–30 МГц
8-й диапазон частот	Очень высокие ОВЧ	30–300 МГц
9-й диапазон частот	Ультравысокие УВЧ	0,3–3 ГГц
10-й диапазон частот	Сверхвысокие СВЧ	3–30 ГГц
11-й диапазон частот	Крайне высокие КВЧ	30–300 ГГц
12-й диапазон частот	Гипервысокие ГВЧ	0,3–3 ГГц

Таблица 2.2

Диапазон радиоволн

Наименование диапазона		Границы диапазонов
основной термин	параллельный	
1-й диапазон частот	Декамегаметровые	100–10 мм
2-й диапазон частот	Мегаметровые	10–1 мм
3-й диапазон частот	Гектокилометровые	1000–100 км
4-й диапазон частот	Мириаметровые	100–10 км
5-й диапазон частот	Километровые	10–1 км
6-й диапазон частот	Гектометровые	1–0,1 км
7-й диапазон частот	Декаметровые	100–10 м
8-й диапазон частот	Метровые	10–1 м
9-й диапазон частот	Дециметровые	1–0,1 м
10-й диапазон частот	Сантиметровые	10–1 см
11-й диапазон частот	Миллиметровые	10–1 мм
12-й диапазон частот	Децимиллиметровые	1–0,1 мм

Урок 55. Принцип радиосвязи

Цель: показать практическое применение электромагнитных волн.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение

– Опишите устройство и принцип действия вибратора Герца.
– С помощью чего Герц регистрировал электромагнитные волны?
– Чему равна скорость электромагнитных волн в вакууме? Зависит ли она от системы отсчета?
– Чем отличаются электромагнитные волны от упругих?
– Под каким углом друг к другу направлены в электромагнитной волне векторы $\vec{E}$ и $\vec{B}$?
– Что такое интенсивность волны?
– Какая из характеристик волны не меняется при ее переходе из одной среды в другую?

III. Изучение нового материала

Дж. Максвелл теоретически показал возможность существования электромагнитных волн.

Г. Герц в 1888 г. экспериментально доказал существование электромагнитных волн.

7 мая 1859 г. А.С. Попов продемонстрировал прибор на заседании Русского физико-химического общества. Дальность – 250 м.

1899 г. – 20 км; 1901 г. – 150 км.

Принцип радиотелефонной связи

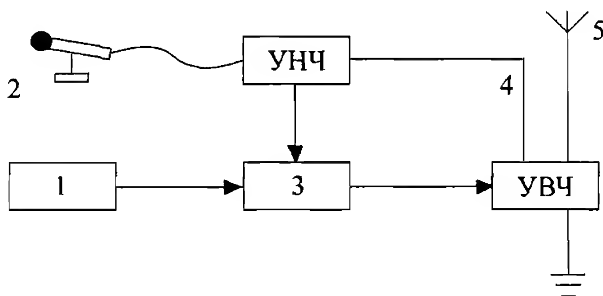


Рис. 47

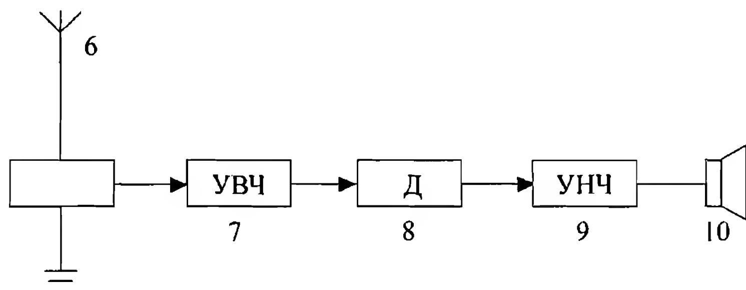


Рис. 48

Структурная схема радиопередатчика и радиоприемника:

1. Задающий генератор (генератор высокой частоты) вырабатывает гармонические колебания высокой частоты ВЧ (несущая частота более 100 тыс. Гц).

2. Микрофон преобразовывает механические звуковые колебания в электрические той же частоты.

3. Модулятор изменяет (модулирует) по частоте или амплитуде высокочастотные колебания с помощью электрических колебаний низкой частоты НЧ.

4. Усилители высокой и низкой частоты УВЧ и УНЧ усиливают по мощности высокочастотные и низкочастотные электрические колебания.

5. Передающая антенна излучает модулированные электромагнитные волны.

6. Приемная антенна принимает электромагнитные волны. Электромагнитная волна, достигая приемной антенны, индуцирует в ней переменный ток той же частоты, на которой работает передатчик.

7. УВЧ.

8. Детектор выделяет из модулированных высокочастотных колебаний низкочастотные колебания.

9. УНЧ.

10. Динамик преобразует электромагнитные колебания в механические звуковые колебания.

Радиоприемник

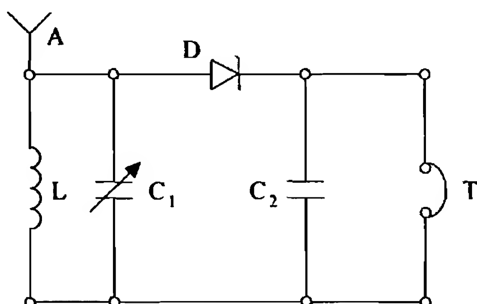


Рис. 49

Детекторный радиоприемник состоит из колебательного контура, антенны, детектора (диода), конденсатора постоянной емкости, телефона.

В контуре принятая волна возбуждает модулированные колебания. Конденсатор переменной емкости настраивает контур на резонанс с принятой радиоволной. Модулированные колебания ВЧ поступают на детекторный каскад. После прохождения детектора составляющая тока ВЧ идет через конденсатор постоянной емкости, а составляющая тока НЧ идет на обмотки катушек телефона, вызывающий колебания мембраны с той же звуковой частотой.

IV. Закрепление материала

- Что называют радиосвязью?
- Начертите блок-схему радиопередатчика и объясните назначение каждого блока.
- Начертите блок-схему радиоприемника и объясните назначение каждого блока.
- Что называют модуляцией? Какие виды модуляции вы знаете?
- Что называют детектированием?
- Начертите схему детекторного приемника, опишите его устройство и принцип работы.

V. Проведение практической работы

Сборка простейшего радиоприемника

Задание: соберите радиоприемник из блоков колебательного контура, детектора, усилителя низкой частоты и телефона. По известным значениям индуктивности катушки и электроемкости конденсатора колебательного контура определите частоту, на которой работает передающая радиостанция.

Оборудование: набор блоков для сборки транзисторного радиоприемника.

Ход работы

1. Соберите действующую модель по схеме.

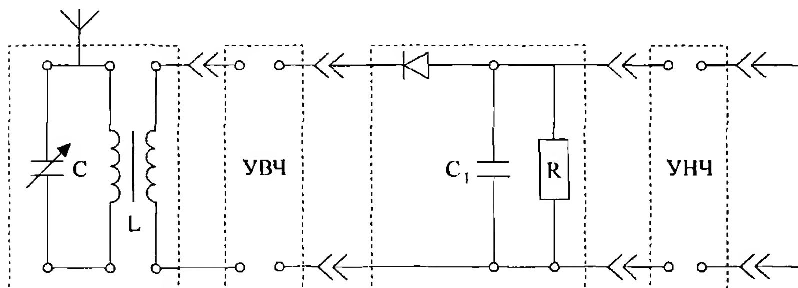


Рис. 50

Подключите к колебательному контуру антенну. К усилителю низкой частоты подключите источник питания.

2. Вращением ручки изменяйте емкость переменного конденсатора до настройки в резонанс с частотой передающей радиостанции. Определите электроемкость конденсатора *C*. По найденному значению электроемкости и известному значению индуктивности катушки определите частоту, на которой работает передающая радиостанция.

3. Подключая УВЧ используйте его влияние на качество ротора приемника.

VI. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 52;

Р – 989; Р – 990.

Дополнительный материал

Источники

Радиоизлучение Солнца. Зарегистрировано радиоизлучение Солнца с длиной волны от нескольких миллиметров до 30 м. Особенно сильно излучение в метровом диапазоне; оно рождается в верхних слоях атмосферы Солнца, в его короне, где температура порядка 1 млн К. Коротковолновое излучение Солнца относительно слабо: оно выходит из хромосферы, расположенной над видимой поверхностью Солнца – фотосферой.

Галактические радиоисточники. Уже первые наблюдения Г. Ребера показали, что радиоизлучение Млечного Пути неоднородно – оно сильнее в направлении центра Галактики. Дальнейшие исследования подтвердили, что основные источники радиоволн относительно компактны; их называют то-

чечными или дискретными. Зарегистрированы уже десятки тысяч таких источников.

Излучение космических радиоисточников бывает двух типов: тепловое и нетепловое (обычно синхротронное). Тепловое излучение рождается в горячем газе от случайного (теплового) движения заряженных частиц – электронов и протонов. Его интенсивность в широком диапазоне спектра почти постоянна, но на длинных волнах она быстро уменьшается. Такое излучение характерно для эмиссионных туманностей. Остальные источники имеют нетепловое излучение, интенсивность которого растет с увеличением длины волны. В этих источниках излучение возникает при движении очень быстрых электронов в магнитном поле. Скорости электронов близки к скорости света, и это не может быть следствием простого теплового движения. Для разгона электронов до таких скоростей в лаборатории используют специальные ускорители – синхротроны. Как это происходит в естественных условиях не совсем ясно. Синхротронное излучение сильно поляризовано. Это позволяет обнаруживать его в космических источниках и по направлению поляризации определять ориентацию их магнитного поля. Таким методом исследованы межзвездные магнитные поля в нашей и соседних галактиках.

Одним из важнейших достижений радиоастрономии стало открытие активных процессов в ядрах галактик. Радионаблюдения указывали на это еще в 1950-е годы, но окончательное подтверждение появилось в 1962 г., когда с помощью 5-метрового оптического телескопа обсерватории Маунт-Паломар (США) были независимо обнаружены бурные процессы в ядре галактики М 82.

Другим важнейшим открытием радиоастрономии считаются квазары – очень далекие и активные внегалактические объекты. Вначале они казались рядовыми точечными источниками. Затем некоторые из них были отождествлены со слабыми звездами (отсюда название «квазар» – квазизвездный радиоисточник). Доплеровское смещение линий в их оптических спектрах указывает на то, что квазары удаляются от нас со скоростью, близкой к скорости света и, в соответствии с законом Хаббла, расстояния до них составляют миллиарды световых лет. Находясь на таких гигантских расстояниях, они заметны лишь потому, что излучают с огромной мощностью – порядка 10^{41} Вт. Это значительно больше мощности излучения целой галактики, хотя размер области генерации энергии у квазаров существенно меньше размера галактик и порой не превосходит размера Солнечной системы. Загадка квазаров до сих пор не раскрыта.

Отождествление источников. Звезды – слабые источники радиоволн. Долгое время единственной звездой на «радионебе» было Солнце, и то лишь благодаря его близости. Но в 1970-х годах Р. Хелминг и К. Уэйд из Национальной радиоастрономической обсерватории США открыли радиоизлучение от газовых оболочек, сброшенных Новой Дельфина 1967 и Новой Змеи 1970. Затем они обнаружили радиоизлучение красного сверхгиганта Антареса и рентгеновского источника в Скорпионе.

В. Бааде и Р. Минковский из обсерваторий Маунт-Вилсон и Маунт-Паломар (США) отождествили многие яркие радиоисточники с оптическими объектами. Например, ярчайший источник в Лебеде оказался связан с очень

далекой и слабой галактикой необычной формы, ставшей прототипом радиогалактик. Мощный радиоисточник в Тельце они отождествили с остатком взрыва сверхновой звезды, отмеченной в китайской летописи 1054 г. Мощный источник в Кассиопее также оказался остатком сверхновой, вспыхнувшей всего лет 300 назад, но никем не замеченной.

В 1967 г. Э. Хьюиш, Дж. Белл и их коллеги из Кембриджа (Англия) открыли необычные переменные радиоисточники – пульсары. Излучение каждого пульсара представляет строго периодическую последовательность импульсов; у открытых пульсаров периоды лежат в интервале от 0,0016 с до 5,1 с. Через 2 года У. Кокки, М. Дисней и Д. Тейлор обнаружили, что радиопульсар в Крабовидной туманности совпадает со слабой оптической звездой, которая, как и пульсар, изменяет свою яркость с периодом 1/30 с. Среди более 700 известных сейчас пульсаров еще только один – в созвездии Парусов (Vela) – демонстрирует оптические вспышки. Выяснилось, что феномен пульсара связан с нейтронными звездами, образовавшимися в результате гравитационного коллапса ядер массивных звезд. Имея диаметр около 15 км и массу как у Солнца, нейтронная звезда быстро вращается и как маяк периодически «освещает» Землю. Постепенно скорость вращения пульсара замедляется, период между импульсами возрастает, а их мощность падает. Иногда наблюдаются резкие сбои периода, когда у нейтронной звезды происходит перестройка структуры, называемая «звездотрясением».

Фоновое излучение. Кроме отождествленных и неотождествленных дискретных источников, наблюдается суммарный фон от миллионов далеких галактик и облаков межзвездного газа нашей Галактики. С повышением чувствительности и разрешающей способности радиотелескопов из этого фона удается выделить все больше дискретных источников.

Радиоизлучение планет. В 1956 г. К. Мейер из Военно-морской лаборатории США открыл излучение Венеры на волне 3 см. В 1955 г. Б. Бурке и К. Франклин из института Карнеги в Вашингтоне обнаружили короткие всплески радиоизлучения от Юпитера на волне 13,5 м. Дальнейшие исследования в Австралии показали, что всплески излучения от Юпитера приходят в те моменты, когда определенные зоны его поверхности обращены к Земле. В дециметровом диапазоне кроме теплового излучения наблюдалось и синхротронное, что указывало на наличие у Юпитера мощного магнитного поля, которое позже было действительно обнаружено космическими зондами.

Радиолокационные исследования планет позволяют точно определять их расстояние от Земли, скорость их суточного вращения и свойства поверхности. Радиолокация Венеры позволила изучить топографию ее поверхности, закрытой от оптических телескопов плотным облачным слоем.

Излучение водорода. Нейтральный атомарный водород, возможно самый распространенный элемент в межзвездном пространстве. Он способен излучать радиолинию с длиной волны 21 см, которая была предсказана в 1944 г. нидерландским теоретиком Х. ван де Хюлстоном и обнаружена в 1951 г. Х. Юэном и Э. Парселом из Гарвардского университета (США). Существование узкой линии в радиодиапазоне оказалось очень полезным: измеряя ее доплеровское смещение, можно очень точно определять лучевую

скорость наблюдаемого облака газа. При этом приемная аппаратура радиотелескопа сканирует некоторый диапазон длин волн в районе линии 21 см и отмечает пики излучения. Каждый такой пик – это линия излучения водорода, смещенная по частоте из-за движения одного из облаков, попавших в поле зрения антенны телескопа.

Около 5 % водорода в Галактике вследствие высокой температуры находится в ионизованном состоянии. Когда свободные электроны пролетают вблизи положительно заряженных ядер водорода – протонов, они испытывают притяжение, движутся ускоренно и при этом излучают электромагнитные кванты. Иногда, потеряв энергию, электрон оказывается захваченным на один из верхних уровней атома (т. е. происходит рекомбинация). Спускаясь затем каскадно на устойчивый нижний уровень, электрон также излучает кванты энергии. Такое излучение свободных и рекомбинирующих электронов наблюдается в радиодиапазоне от эмиссионных туманностей и позволяет обнаруживать их даже в тех случаях, когда оптическое излучение не может достичь Земли из-за поглощения в межзвездной пыли. Благодаря этому радиоастрономы смогли обнаружить практически все эмиссионные туманности в Галактике.

Урок 56. Лабораторная работа по теме «Сборка простейшего радиоприемника»

Задание: соберите радиоприемник из блоков колебательного контура, детектора, усилителя низкой частоты и телефона. По известным значениям индезитивности катушки и электроемкости конденсатора колебательного контура определите частоту, на которой работает передающая радиостанция.

Оборудование: набор блоков для сборки транзисторного радиоприемника.

Ход работы

Содержание и метод выполнения работы

В проводе антенны радиоприемника электромагнитная волна вызывает вынужденные колебания электронов. Для того чтобы слушать радиопередачу только от одной радиостанции, нужно выделить из всех сигналов колебания с одной избранной частотой. Если частоты передающих станций не очень близки, то это можно осуществить с помощью настройки колебательного контура приемника на частоту избранной радиостанции. Переменный ток, возбуждаемый радиоволнами в антенне, протекает через катушку, надетую на февритовый стержень. На тот же стержень надета катушка колебательного контура приемника. Частоту собственных колебаний контура можно

изменять путем изменения электроемкости C переменного конденсатора, включенного параллельно катушке.

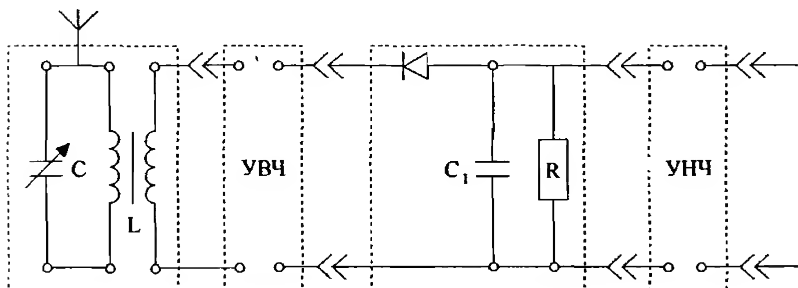


Рис. 51

При совпадении собственной частоты колебательного контура с частотой принимаемой радиоволны наблюдается явление резонанса, и амплитуда колебаний силы тока в контуре достигает максимального значения. Амплитуды вынужденных колебаний, возбуждаемых радиоволнами с другими частотами, оказываются при этом значительно меньшими.

Переменное напряжение высокой частоты с обкладок конденсатора колебательного контура подается через полупроводниковый диод на параллельно соединенные конденсатор C_1 и резистор R. Диод пропускает ток в одном направлении.

Конденсатор C_1 заряжается через диод в течение одной половины периода колебаний и непрерывно разряжается через резистор R. Если колебания высокой частоты амплитуды модулированы колебаниями звуковой частоты, то напряжение на обкладках конденсатора C_1 изменяется в соответствии с колебаниями амплитуды модуляции. Поэтому напряжение на резисторе R изменяется со звуковой частотой модуляции.

Для усиления амплитуды колебаний можно использовать транзисторный усилитель низкой частоты (УНЧ). К выходу УНЧ подключается телефон или громкоговоритель.

Порядок выполнения работы

1. Соберите действующую модель радиоприемника по схеме. Подключите к колебательному контуру антенну. К усилению низкой частоты подключите источник питания ЧП.

2. Вращением ручки изменяйте электроемкость переменного конденсатора колебательного контура до настройки в резонансе с частотой передающей радиостанции. Определите по шкале электроемкость конденсатора C. По найденному значению электроемкости

конденсатора и известному значению индуктивности катушки определите частоту, на которой работает передающая радиостанция.

Дополнительное задание

Между блоками колебательного контура и детектора включите блок усилителя высокой частоты (УВЧ) и исследуйте его влияние на качество работы приемника. Подавая сигнал с выхода УНЧ на вход усилителя вертикального отклонения электронного осциллографа, пронаблюдайте осциллограмму колебаний напряжения на входе УНЧ.

Домашнее задание

§55–56.

Урок 57. Блиц-турнир по теме «Механические и электромагнитные волны»

Цели: повторение материала по теме «Механические и электромагнитные волны»; проверка знаний, сообразительности, умения логически мыслить.

Ход урока

Правила игры:

– вопросы подбираются по теме;

– урок идет в быстром темпе;

– во время урока можно пользоваться любой справочной литературой, включая учебник.

Учитель зачитывает вопрос. Игрок, готовый к ответу, поднимает руку; первому поднявшему руку предоставляется слово. Правильный ответ оценивается в 1 балл. Участники, набравшие меньше всех баллов, выбывают из игры.

Вопросы:

1. Что представляет собой волновое движение?
2. Какие волны называются поперечными, продольными?
3. В каких средах могут распространяться поперечные волны; продольные?
4. Опишите механизм образования поперечных и продольных волн.
5. Происходит ли перенос вещества волной, перенос энергий?
6. Что такое волновая поверхность, фронт волны, луч волны?
7. Какие волны называются плоскими, сферическими?
8. Что называется скоростью распространения волны? Что такое

длина волны? Какая существует связь между скоростью распространения волны и длиной волны?

9. Опишите механизм образования стоячей волны. Что называется узлами и пучностями стоячей волны? Почему этим волнам дано такое название?

10. Происходит ли перенос энергии стоячей волной?

11. Какова физическая привода звука? Что такое акустика?

12. Какие звуковые колебания воспринимает ухо человека?

13. Как классифицируются звуки? Чем отличается шум от музыкального тока? От чего и как зависит высота тока? От чего зависит тембр звука?

14. Как измеряют скорость звука, от чего она зависит?

15. В какой среде скорость звука наибольшая: в твердой, жидкой или газообразной?

16. Могут ли звуковые волны распространяться в вакууме?

17. Что называется силой звука?

18. Приведите примеры акустического резонанса. Где он применяется?

19. Что такое ультразвук? Назовите источники ультразвука. Где применяется ультразвук в технике?

20. Что такое инфразвук? Каков их источник?

21. Что называется интерференцией волн и каковы условия ее наблюдения? Что происходит с энергией при гашении волн друг другом, когда откладываются две когерентные волны?

22. В чем заключается принцип Гюйчекса?

23. Что называется дифракцией волн, и каковы условия ее возникновения? В чем состоит заслуга Френеля при объяснении явления дифракции волн?

24. Какой сдвиг фаз имеют колебания, совершающиеся в одинаковых фазах, в противофазах?

25. Что такое суперпозиция волн?

26. Что называют геометрической разностью хода волн?

27. Какие волны называют когерентными?

28. Почему при радиолокации используют ультракороткие волны?

29. Какие явления наблюдают при изменении магнитного поля? В чем состоит сущность данного явления?

30. Какие явления наблюдают при изменении электрического поля?

31. Могул ли электрические и магнитные поля существовать обособленно друг от друга?

Подведение итогов

Учитель выставляет оценки за урок.

Домашнее задание

§ 57, 58.

Урок 58. Влияние искусственных и естественных электромагнитных колебаний на живые организмы

Ход урока

I. Организационный момент

II. Проведение самостоятельной работы

Вариант I

1. Что такое электромагнитные волны? (*Распространяющееся в пространстве переменное электромагнитное поле.*)

2. Каковы основные положения теории электромагнитного поля Максвелла? (*При всяком изменении магнитного поля возникает вихревое электромагнитное поле, у которого вектор напряженности* $\vec{E} \approx \dfrac{\Delta\vec{B}}{\Delta t}$. *При всяком изменении электрического поля возникает магнитное поле, у которого вектор* $\vec{B} \approx \dfrac{\Delta\vec{E}}{\Delta t}$ *распространяется в окружающем пространстве со скоростью света.*)

3. С какой скоростью распространяется электромагнитное взаимодействие в вакууме? ($c = 3 \cdot 10^8$ *м/с.*)

4. Как нужно изменить расстояние между пластинами конденсатора, чтобы настроить контур на прием более длинных волн? (*Уменьшить расстояние между ними.*)

5. При каких условиях возникает электрический резонанс в колебательном контуре детекторного радиоприемника? (*Период (частота) принимаемых электромагнитных волн и период (частота) собственных колебаний контура совпадают. В этом случае амплитуда вынужденных колебаний достигает наибольшего значения.*)

6. Имеются ли существенные различия между условиями распространения радиоволн на Земле и на Луне? (*Имеются, так как на Луне отсутствует ионосфера.*)

7. Радиоприемник настроен в диапазоне на длину волны 300 м при емкости колебательного контура 200 мкФ. На какую длину волны будет настроен радиоприемник, если не меняя индуктивность колебательного контура, увеличить его емкость до 900 мкФ? (*600 м*).

8. От чего в основном зависит излучательная способность простого колебательного контура? (*От частоты электромагнитных колебаний.*)

9. Какие явления происходят во время радиоприема в цепи детектора? (*Высокочастотные модулированные колебания преобразуются в тон звуковой частоты.*)

Вариант II

1. Можно ли выбрать систему отсчета, в которой обнаружилась бы только магнитная составляющая $\vec{B}$? (*Нельзя.*)

2. Как изменится мощность излучения, если частоту электрического вибратора увеличить в $\sqrt{2}$ раза? (*Увеличится в 4 раза.*)

3. Какие явления происходят во время радиоприема в антенне и колебательном контуре приемника? (*Под действием радиоволны происходит индуцирование электрических ВЧ-колебаний.*)

4. При увеличении частоты колебаний в 2 раза энергия, излучаемая открытым колебательным контуром ... (*увеличивается в 16 раз.*)

5. Какие колебания выделяются при детектировании? (*Низкой частоты.*)

6. Как нужно изменить индуктивность приемного контура, чтобы настроить его на прием более коротких волн? (*Уменьшить.*)

7. Можно ли осуществить радиосвязь с помощью радиоволн с подводной лодки, находящейся под водой? (*Нет.*)

8. Чему равна длина радиоволны, создаваемой радиостанцией, работающей на частоте $1{,}5 \cdot 10^6$ Гц? (*200 м.*)

9. Какое преобразование энергии происходит при работе телефона? (*Электрическая преобразуется в механическую.*)

III. Изучение нового материала

Электромагнитные поля сотовых телефонов

Наиболее вредными являются высокочастотные излучения сантиметрового диапазона. Облучение вызывает нагревание, что может привести к изменениям и даже повреждениям тканей организма. Действие электромагнитных полей на организм проявляется на функциональном расстройстве центральной нервной системы. Субъективные ощущения – повышенная утомляемость, сонливость или нарушение сна и т.д. При систематическом облучении наблюдаются нервно-психические заболевания, изменение кровяного давления, замедление пульса.

Внешние признаки – поредение волос, сухая кожа, желтоватого оттенка, хриплый голос.

Меры безопасности:

– не разговаривайте много по мобильному телефону;
– не подносите телефон к голове сразу же после нажатия кнопки начала набора номера. В этот момент электромагнитное излучение в несколько раз больше, чем во время разговора;
– опасайтесь находиться подолгу вблизи антенны ретранслятора провайдера;
– при выборе телефона отдайте предпочтение аппаратам с внешними антеннами.

Электромагнитные поля бытовой техники

Наиболее распространенным являет низкочастотное (50 Гц) переменное магнитное поле. В порядке убывания опасности для здоровья человека: микроволновая печь, электроплита, телевизор, стиральная машина, холодильник, электробритва, утюг, электрочайник. Если их поставить рядом или близко друг к другу, они создадут сильное электромагнитное поле. Самое опасное место в квартире – кухня. Обезопасить можно себя самым простым способом – как можно меньше времени проводить на кухне.

Покупайте маломощные приборы, не включайте несколько электробытовых приборов одновременно.

На данный момент наукой количественно не доказано прямой связи между уровнем электромагнитных полей и онкологическими и другими видами заболеваний. Однако качественно связь прослеживается: в местах, где люди подвергаются воздействию электромагнитных облучений, чаще выявляются раковые заболевания и расстройства сердечно-сосудистой и нервной системы. Искусственные электромагнитные поля вредны для всех, но особенно для беременных женщин, людей с заболеванием центральной нервной системы, сердечно-сосудистой системы, гормональными нарушениями, аллергетиков.

Специалисты советуют не ставить кровать ближе 2 м к кабельным подводкам и ближе 1,5 м к холодильнику. Телевизоры излучают электромагнитное поле во всех направлениях, даже в режиме ожидания.

В России не установлено предельно допустимые уровни переменного магнитного поля частотой 50 Гц для населения, поэтому этот вид излучения не контролируется в местах работы и жилищах.

Как установлено шведскими учеными, при повышении уровня магнитного поля от 0,1 мкТ до 0,4 мкТл риск развития лейкемии у детей возрастает в 3,6 раза.

Персональный компьютер

Многие пользователи полагают, что опасность исходит от монитора – это рентгеновское излучение. В действительности рентгеновские и ультрафиолетовые, инфракрасные излучения, как правило, не

превышают биологическую опасность. Главную опасность представляют электромагнитные поля. Уровень их превышает биологическую опасность. Чувства человека не воспринимают электромагнитные поля рассеянного диапазона и пользователь не может оценить опасность.

У пользователя, работающего за монитором 2–6 часов в сутки, нарушение центральной нервной системы происходит в 4–6 раз чаще. Даже при кратковременной работе (45 мин.) под влиянием электромагнитного излучения происходят значительные изменения гормонального состояния и изменения биотоков мозга. Особо ярко это проявляется у женщин.

Магнитные поля бытовых приборов

Безопасный уровень – 0,2 мкТл:
кофеварка – 0,12 мкТл;
фен – 0,1 мкТ;
утюг – 0,3 мкТ;
электрокамин – 0,4 мкТ;
стиральная машина – 0,4 мкТл.

IV. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 49–58.

Урок 59. Обобщающий познавательно-развлекательный урок

Цели: повторение материала по теме «Электромагнитные волны», расширение кругозора учащихся.

Эпиграф к уроку: «Я мыслю, следовательно, я существую».

(*Р. Декарт*)

Ход урока

Этот урок проводится с целью повторения материала и оживления учебного процесса. В подобных играх ребят привлекает азарт соревнования и интересные вопросы.

Вопросы подбираются по теме. Урок идет в быстром темпе. Во время урока можно пользоваться любой справочной литературой, включая учебник.

I. Блиц-турнир

1. Во время Отечественной войны 1812 г. не раз отличался в сражениях. В 1832 г. создал клавишный телеграфный аппарат с индикатором. В 1837 г. разработал проект подводной линии электромагнитного телеграфа между Петергофом и Кронштадтом. (*Павел Львович Шиллинг.*)

2. В 1837 г. сконструировал телеграфный аппарат, записывающий сигналы. Составил код, в котором все буквы алфавита были зашифрованы в двоичной системе: точка–тире. (*Самуил Морзе.*)

3. В 1850 г. изобрел первый в мире буквопечатающий телеграфный аппарат. (*Борис Семенович Якоби.*)

4. В 1901 г. передал радиосигнал через Атлантический океан из Корнуэппа в Ньюфаундленд. Когда в 1937 г. он скончался, все радиоприемники мира молчали 2 мин. (*Гульельмо Маркони.*)

5. Русская почта была учреждена в 1665 г. при царе Алексее Михайловиче Романове. Организовал ее дипломат ... (*Афанасий Лаврентьевич Ордын-Нащекин.*)

6. С детства рос в атмосфере звуков и музыки. С 1873 г. – профессор физиологии органов речи Восточного университета. Чистая случайность в работе по созданию телеграфа помогла ему открыть в 1876 г.

7. Радиопередатчик работает на частоте $6 \cdot 10^6$ Гц. Рассчитайте индуктивность выходного контура передатчика, если его электроемкость 100 пФ.

8. Радиопередатчик корабля-спутника «Восток» работал на частоте 20 МГц. Каковы период и длина волны его излучения?

9. При работе на волне длиной 3,2 мм судовая радиолокационная станция «Океан» излучает импульсы с частотой следования $2{,}5 \cdot 10^3$ Гц. Каков теоретический радиус действия этой станции в таком режиме работы?

10. Излучающая антенна телецентра поднята на высоту 150 м над уровнем моря, а приемная антенна телевизора – на высоту 40 м над уровнем моря. На какое расстояние можно отнести приемную антенну без помех для приема из-за кривизны Земли, если между передающей и приемной антеннами нет возвышенностей?

11. Они не отражаются ионосферой и свободно проходят через нее; они не огибают поверхность Земли в результате дифракции, поэтому связь осуществляется только в пределах прямой видимости антенны передатчика. (*УКВ.*)

12. Эта радиосвязь обеспечивает телевизионную передачу из США в Западную Европу, Японию и обратно, позволяет осуществ-

лять «телемост» между нашей страной и США, а также Западной Европой и Японией. (*Спутниковая.*)

13. Этот подвиг дал рождение такому виду легкой атлетики как марафонский бег. (*Доставляя известие о победе греков над персами в Марафонской долине, гонец пробежал без остановки 42 км.*)

14. В 1854 г. в России создается Управление этой связью. Официальным началом работы связи считается 15 апреля 1855 г. – день открытия магистрали Петербург – Москва. (*Телеграфная.*)

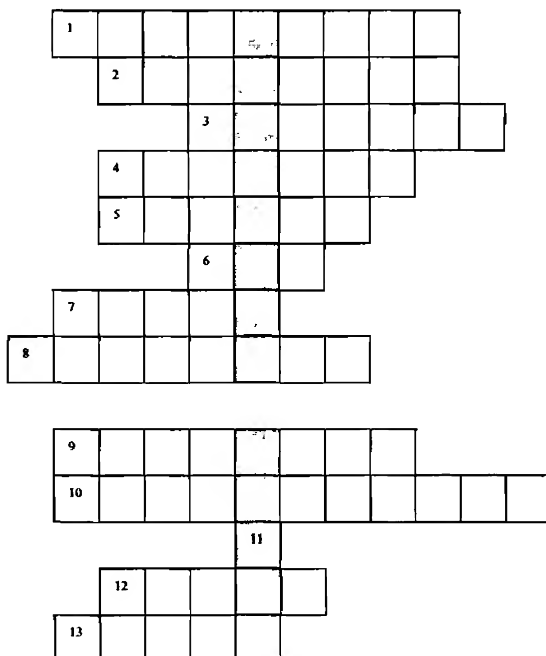
15. В России эта связь появилась в 1881 г. Первые станции открылись в Москве, Петербурге, Одессе. (*Телефонная.*)

16. При Людовике XIV глава королевского совета кардинал Ришелье сделал это средство связи основным в государстве, запретив подданным пересылать письма иным способом. (*Почта.*)

17. В России эта традиция появилась в начале XVI века. Они оказались идеальными связистами благодаря удивительной способности возвращаться под родную кровлю и помнить дорогу к дому в течение нескольких лет. (*Голубиная почта, голуби.*)

II. Кроссворд

Применим свои знания к разгадыванию кроссвордов.



Вопросы:

1. Использованная верхняя часть атмосферы, начинающаяся с расстояния примерно 50–90 км от поверхности Земли и переходящая в межпланетную плазму; 2–3. Приборы, совместное пользование которыми позволяет передавать звук на далекие расстояния; 4. По нему нельзя разговаривать, но можно послать сигнал; 5. Первый в мире телефонный аппарат собрал ...; 6. Автоматическая телефонная станция; 7. Ученый, изобретатель первого радиоприемника; 8. Одна из основных частей приборов (см. п. 2 и 3); 9. Ээлектронно-лучевая трубка, выполняющая роль индикаторного устройства; 10. Передача изображения на расстояние; 11. Кто любит говорить по телефону? 12. Изобретатель электромагнитного телеграфа и азбуки из точек и тире; 13. Изобретатель первого в мире телеграфного аппарата, печатающего буквы.

(*Ответы:* 1. Ионосфера; 2. Микрофон; 3. Телефон; 4. Пейджер; 5. Ватсон; 6. АТС; 7. Попов; 8. Мембрана; 9. Кинескоп; 10. Телевидение; 11. Я; 12. Морзе; 13. Якоби. *Ключевые слова*: СРЕДСТВА СВЯЗИ.)

III. Подведение итогов

Выставление оценок за работу в журнал.

Оптика

Глава 8. Световые волны

Урок 60. Развитие взглядов на природу света

Цель: рассказать о двух гипотезах, что такое свет.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Изучение нового материала

1. Рассказ учителя.

Ответ на вопрос о природе световых волн был получен на основании длинного ряда наблюдений над особенностями световых явлений. При этом, как обычно бывает, при развитии наших научных воззрений представления о природе света менялись по мере того, как накапливались новые сведения и данные.

Два способа передачи воздействия

От источника света свет распространяется во все стороны и падает на окружающие предметы, вызывая, в частности, нагревание. Можно сказать, что при распространении света происходит передача воздействий от одного тела (источника) к другому (приемнику). Действие одного тела на другое осуществляется двумя способами:

1) с переносом вещества;
2) *с изменением состояния среды.*

2. Проведение экспериментов.

Эксперимент 1

На штативе помещен колокольчик. Кидаем в него шарик. Колокольчик звенит. Здесь был перенос вещества.

Эксперимент 2

Привязать к язычку колокольчика шнурок и дернуть за него. В этом случае переноса вещества нет. Происходит изменение состояния (формы) веревки.

3. Продолжение рассказа учителя.

В соответствии с двумя возможными способами передачи действия от источника к приемнику возникли и начали развиваться две совершенно различные теории о том, что такое свет, какова его природа.

Причем, возникли они почти одновременно в XVII веке. Одна была связана с именем X. Гюйгенса и поддерживалась Л. Эйлером, М. В. Ломоносовым и В. Франклином. А другая – с именем Ньютона.

И. Ньютон предложил придерживаться корпускулярной теории света, согласно которой свет – это поток частиц, идущих от источника во все стороны (перенос вещества).

Согласно предположениям Гейгенса, свет – это волны, распространяющиеся в особой, гипотетической среде – эфире, заполняющем все пространство и проникающем внутрь всех тел. Обе теории долгое время существовали параллельно. Известные в то время законы распространения света более или менее успешно объяснялись обеими теориями.

На основе корпускулярной теории трудно было объяснить, почему световые пучки, пересекаясь, никак не действуют друг на друга. Волновая же теория это легко объясняла. Поверхностные волны воды свободно проходят сквозь друг друга, не оказывая взаимного влияния.

Но исходя из волновой теории трудно объяснить образование резких теней. Корпускулярная же теория объясняла это следствием закона инерции.

В дальнейшем волновая теория была развита в работах М. В. Ломоносова, А. Эйлера, Т. Юнга, О. Френеля, Дж.-К. Максвелла.

М. В. Ломоносов в своем труде «Слово о происхождении света, новую теорию о цветах представляющее» (1756 г.) объясняет механизм распространения света.

Он вводит понятие о колебательном движении частиц эфира. Свет, представляет собой распространение и передачу колебательного движения в эфире – от одних частиц к соседним. В рассуждениях Ломоносова содержится идея о поперечности световых волн.

Различие цветов тел Эйлер связывал с неодинаковыми частотами колебаний. Каждому цвету соответствует определенная частота.

Большое развитие и завершенность волновая теория света получила в работах Т. Юнга и О. Френеля. Юнг определил длину световой волны. Работы этих ученых были посвящены интерференции, дифракции и поляризации света.

Электромагнитная природа света была создана Дж.-К. Максвеллом и подтверждена опытами Г. Герца. При распространении свет ведет себя как волны.

Ньютон считал, что свет состоит из световых частиц – корпускул, к движению которых он применял законы механики.

Корпускулы движутся в однородной среде с огромными скоростями. При отражении и преломлении света на корпускулы действуют силы со стороны отражающей или преломляющей среды, меняющей их скорость. Это приводит к изменению направления распространения потока частиц, т. е. света.

Однако в начале XX века представления о природе света начали коренным образом меняться.

Неожиданно оказалось, что отвергнутая корпускулярная теория все же имеет отношение к действительности. Корпускулярную теорию света в ее современном понимании создал Эйнштейн, являющийся основоположником учения о фотонной структуре света. Основу теории установил М. Планк. Большой вклад в развитие теории внес Н. Бор.

Оказалось, что при излучении и поглощении свет ведет себя подобно потоку частиц.

Возникла необычная ситуация: явления интерференции и дифракции по-прежнему можно было объяснить, считая свет волной, а явления излучения и поглощения – считая свет потоком частиц. Эти два, казалось бы, несовместимых друг с другом представления о природе света, удалось объединить в новой теории. С течением времени выяснилось, что двойственность свойств присуща не только свету, но и любой другой форме материи.

III. Подведение итогов урока

Домашнее задание

с. 171–174.

Дополнительный материал

Свет и световые явления люди начали изучать задолго до открытия электромагнитных волн. Такие известные философы древности как Пифагор (VI в. до н.э.), Аристотель (IV в. до н.э.), Евклид (III в. до н.э.) занимались изучением света. Евклид в своих трактатах обобщил ранее известные знания и изложил два закона геометрической оптики. По-видимому, Пифагор одним из первых выдвинул гипотезу о том, что тела испускают мельчайшие частицы, которые попадают в глаза, благодаря чему мы и видим окружающий мир. Одну из первых гипотез о свете как возбуждении среды выдвинул древнегреческий ученый Аристотель. Форму теории о световых волнах эта гипотеза приобрела в трудах голландского ученого-физика Х. Гюйгенса (1629–1688).

Развитие взглядов на природу света и первые открытия в области физической оптики

Первые представления о том, что такое свет, относятся к древности.

В древности представления о природе света были весьма примитивными, фантастическими и к тому же весьма разнообразными. Однако несмотря на разнообразие взглядов древних на природу света, уже в то время наметились три основных подхода к решению вопроса о природе света. Эти три подхода в дальнейшем оформились в две конкурирующие теории – корпускулярную и волновую теории света.

Подавляющее большинство древних философов и ученых рассматривало свет как некие лучи, соединяющие светящееся тело и человеческий глаз. При этом одни из них полагали, что лучи исходят из глаз человека, они как бы ощупывают рассматриваемый предмет. Эта точка зрения имела сначала большое число последователей. Даже такой крупнейший ученый как Евклид придерживался ее. Формулируя первый закон геометрической оптики, закон прямолинейного распространения света, Евклид писал: «Испускаемые глазами лучи распространяются по прямому пути». Такого же взгляда придерживался Птолемей и многие другие ученые и философы.

Однако позже, уже в Средние века, такое представление о природе света теряет свое значение. Все меньше становится ученых, следующих этим взглядам. И к началу XVII в. эту точку зрения можно считать уже забытой.

Другие, наоборот, считали, что лучи испускаются светящимся телом и, достигая человеческого глаза, несут на себе отпечаток светящегося предмета. Такой точки зрения придерживались атомисты Демокрит, Эпикур, Лукреций.

Последняя точка зрения на природу света уже позже, в XVII в., оформилась в корпускулярную теорию света, согласно которой свет есть поток каких-то частиц, испускаемых светящимся телом.

Третья точка зрения на природу света была высказана Аристотелем. Он рассматривал свет не как истечение чего-то от светящегося предмета в глаз и тем более не как некие лучи, исходящие из глаза и ощупывающие предмет, а как распространяющееся в пространстве (в среде) действие или движение.

Мнение Аристотеля в его время мало кто разделял. Но в дальнейшем, опять же в XVII в., его точка зрения получила развитие и положила начало волновой теории света.

В XVII в. в связи с развитием оптики вопрос о природе света вызывает все больший и больший интерес. При этом происходит образование двух противоположных теорий света: корпускулярной и волновой.

Для развития корпускулярной теории света была более благоприятная почва. Действительно, для геометрической оптики представление о том, что свет есть поток особых частиц, было вполне естественным. Прямолинейное распространение света хорошо объяснялось с точки зрения этой теории. Также хорошо объяснялся и закон отражения света. Да и закон преломления не противоречил этой теории.

Общее представление о строении вещества также не вступало в противоречие с корпускулярной теорией света. В основе тогдашних представлений о строении вещества лежала атомистика. Все тела состоят из атомов. Между атомами существует пустое пространство. В частности, тогда считали, что межпланетное пространство является пустым. В нем и распространяется свет от небесных тел в виде потоков световых частиц. Поэтому вполне естественно, что в XVII в. было много физиков, которые придерживались корпускулярной теории света.

В XVII в., как мы уже сказали выше, начинает развиваться и представление о волновой природе света.

Родоначальником волновой теории света нужно считать Декарта. Декарт был противником существования пустого пространства. В связи с этим он не

мог считать свет потоком световых частиц. Свет, по Декарту, это нечто вроде давления, передающегося через тонкую среду от светящегося тела во все стороны. Если тело нагрето и светится, то это значит, что его частицы находятся в движении и оказывают давление на частицы той среды, которая заполняет все пространство. Эта среда получила название эфира. Давление распространяется во все стороны и, доходя до глаза, вызывает в нем ощущение света.

Такова точка зрения Декарта на природу света. Нужно только отметить, что в своем сочинении, посвященном специально оптике, Декарт пользуется и корпускулярной гипотезой. Но это, как он сам говорит, сделано для того, чтобы его рассуждения были более понятны. Поэтому не правы те, кто на основе только этого сочинения зачисляет Декарта в сторонники корпускулярной теории света. Ученые XVII и XVIII вв. это хорошо понимали и считали Декарта родоначальником волновой теории света.

Конечно, у Декарта нет еще представления о световых волнах. Он представляет себе свет как распространяющееся движение, или импульс в эфире. Но не это важно. Важным является то, что Декарт рассматривает свет уже не как поток частиц, а как распространение давления, или движение импульса и т. п.

Декарт пришел к отказу от корпускулярной теории света чисто умозрительным путем. Никаких опытных данных, которые говорили бы за волновую теорию света, тогда еще не было. Первое открытие, свидетельствующее о волновой природе света, было сделано итальянским ученым Франческо Гримальди (1618–1663). Оно было опубликовано в 1665 г. после смерти ученого.

Гримальди заметил, что если на пути узкого пучка световых лучей поставить предмет, то на экране, поставленном сзади, не получается резкой тени. Края тени размыты, кроме того, вдоль тени появляются цветные полосы. Открытое явление Гримальди назвал дифракцией, но объяснить его правильно не сумел. Он понимал, что наблюдаемое им явление находится в противоречии с законом прямолинейного распространения света, а вместе с тем и с корпускулярной теорией. Однако он не решился полностью отказаться от этой теории.

Свет, по Гримальди, распространяющийся световой флюид (тонкая неощутимая жидкость). Когда свет встречается с препятствием, то оно вызывает волны этого флюида. Гримальди привел аналогию с волнами, распространяющимися по поверхности воды. Подобно тому как вокруг камня, брошенного в воду, образуется волна, так и препятствие, помещенное на пути света, вызывает в световом флюиде волны, которые распространяются за границы геометрической тени.

Вторым важным открытием, относящимся к физической оптике, было открытие интерференции света. Простой опыт по интерференции света наблюдал Гримальди. Опыт заключается в следующем: на пути солнечных лучей ставят экран с двумя близкими отверстиями (проделанными в ставне, закрывающей окно); получаются два конуса световых лучей. Помещая экран в том месте, где эти конусы накладываются друг на друга, замечают, что в некоторых местах освещенность экрана меньше, чем если бы его освещал

только один световой конус. Из этого опыта Гримальди сделал вывод, что прибавление света к свету не всегда увеличивает освещенность.

Другой случай интерференции примерно в те же годы исследовал английский физик Роберт Гук (1635–1703). Он изучал цвета мыльных пленок и тонких пластинок из слюды. При этом он обнаружил, что эти цвета зависят от толщины мыльной пленки или слюдяной пластинки.

Гук подошел к изучению этих явлений с правильной точки зрения. Он полагал, что свет – это колебательные движения, распространяющиеся в эфире. Он даже считал, что эти колебания являются поперечными.

Явление интерференции света в тонких пленках Гук объяснял тем, что от верхней и нижней поверхности тонкой, например мыльной, пленки происходит отражение световых волн, которые, попадая в глаз, производят ощущение различных цветов. Однако у Гука не было правильного представления о том, что такое цвет. Он не связывал цвет с частотой колебаний или с длиной волны, поэтому не смог разработать теорию интерференции.

Третье важное открытие, относящееся к волновой оптике, было сделано датским ученым Бартолином в 1669 г. Он открыл явление двойного лучепреломления в кристалле исландского шпата. Бартолин обнаружил, что если смотреть на какой-либо предмет через кристалл исландского шпата, то видно не одно, а два изображения, смещенных друг относительно друга. Это явление затем исследовал Гюйгенс и попытался дать ему объяснение с точки зрения волновой теории света.

Следующий шаг в развитии волновой теории света был сделан Гюйгенсом. Гюйгенс работал над волновой теорией света в 70-х гг. XVII в. В это время он написал «Трактат о свете», содержание которого доложил Парижской академии наук. Однако опубликовано это сочинение было позже, уже после того как стали известны работы Ньютона по оптике.

Гюйгенс полагал, что все мировое пространство заполнено тонкой неощутимой средой – эфиром, который состоит из очень маленьких упругих шариков. Эфир также заполняет пространство между атомами, образующими обычные тела.

Распространение света, по Гюйгенсу, есть процесс передачи движения от шарика к шарику, подобно тому как распространяется импульс вдоль стальных шаров, соприкасающихся друг с другом и вытянутых в одну линию.

Выдвинув такую гипотезу о свете, Гюйгенс посвятил основную часть своей работы объяснению известных законов оптики: закона прямолинейного распространения света, законов отражения и преломления.

Дело в том, что в тот период от всякой теории света требовалось в первую очередь объяснить эти хорошо знакомые всем законы оптики. Эту задачу хорошо выполняла корпускулярная теория света. Но вот может ли справиться с ней волновая теория?

Ведь если свет представляет собой распространяющееся движение в эфире, то как можно объяснить закон прямолинейного распространения света? Для звука, например, волновая природа которого была ясна, такой закон, казалось, не существует. Действительно, если между наблюдателем и звучащим телом поставить небольшой экран, то ведь все равно наблюдатель будет слышать звук. Но для света это неверно. Правда, явление дифракции

уже открыто, но это, очень малый эффект и на него можно не обращать внимания.

Для того чтобы показать, что волновая теория способна объяснить прямолинейное распространение света, Гюйгенс выдвигает свой известный принцип. Приведем формулировку этого принципа, данную самим Гюйгенсом.

«По поводу процесса образования этих волн следует еще отметить, что каждая частица вещества, в котором распространяется волна, должна сообщать свое движеиие не только ближайшей частице, лежащей на проведенной от светящейся точки прямой, но необходимо сообщает его также и всем другим частицам, которые касаются ее и препятствуют ее движению. Таким образом, вокруг каждой частицы должна образоваться волна, центром которой она является». Но каждая из этих волн чрезвычайно слаба, и световой эффект наблюдается только там, где проходит их огибающая.

Но для признания волновой теории света этого было мало. Явления дифракции и интерференции не были объяснены Гюйгенсом. Но главная иеудача теории Гюйгенса заключалась в том, что она была теорией бесцветного света. Вопрос о цвете в ней ие рассматривался, а к тому времени Ньютон сделал новое важное открытие в оптике – он обнаружил дисперсию света.

Прежде чем перейти к изложению этого открытия, скажем еще об одном важном шаге в развитии оптики – первом определении скорости света.

Впервые скорость света была определена датским астрономом Ремером в 70-х гг. XVII в. До этого времени среди ученых существовало два противоположных мнения. Одни полагали, что скорость света бесконечно велика. Другие же хотя и считали ее очень большой, тем не менее, конечной.

Ремер подтвердил второе мнение, проведя наблюдения над затмением спутников Юпитера. Измерив времена их затмения, он смог из полученных данных подсчитать скорость распространения света. По его подсчетам, скорость света получилась равной 300870 км/с в современных единицах.

Урок 61. Опытное определение скорости света

Цель: познакомить учащихся со способами нахождения скорости света.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение

– Какова природа света?
– Кто придерживался корпускулярной теории света?
– Кто придерживался волновой теории света?
– Что изучает оптика?
– Какие разделы оптики вы знаете?
– Что изучает геометрическая оптика?

III. Изучение нового материала

Одна из первых попыток по измерению скорости света принадлежит Г. Галилею. На вершинах двух холмов на расстоянии 1,5 км друг от друга находились наблюдатели с фонарями. Первый подавал сигналы другому наблюдателю, который, увидев свет, посылал своим фонарем сигналы обратно. Промежуток времени между посылками и приемами сигналов первый наблюдатель измерял по числу ударов пульса. Время получалось конечным, но очень малым. Но Галилей понял, что задержка ответного сигнала связана со скоростью реакции мышечной системы человека, а не с конечной скоростью света. Попытка не завершилась успехом, потому что во времена Г. Галилея не было способов измерения малых промежутков времени.

Схема, предложенная Галилеем, в своей принципиальной части совпадает со всеми последующими прямыми измерениями скорости распространения света.

Ремер, первый в истории науки, определил скорость света. В 1676 г. Ремер был астрономом, и его успех объясняется именно тем, что проходимые светом расстояния, были очень велики. Это расстояния между планетами солнечной системы.

Он наблюдал затмение спутников Юпитера. Юпитер имеет множество (восемнадцать) спутников. Объектом изучения Ремера стал спутник Ио. Он видел, как спутник проходил перед планетой, а затем уходил в ее тень. После появлялся, как будто «зажглась лампа». Промежуток оказался равным 42 ч 28 мин. В начале измерения проводились, когда расстояние между Землей и Юпитером было максимальным. Затем через полгода, когда Земля удалялась от Юпитера на диаметр своей орбиты. Спутник опаздывал появляться на 22 мин. Зная расстояние, которое вызвало опоздание (диаметр орбиты Земли), можно было рассчитать скорость света.

Скорость оказалась очень большой – 215 000 км/с. Эти результаты обладают малой точностью, вследствие неточного знания радиуса орбиты Земли. Такая большая скорость не дает возможности установить время распространения между двумя точками на Земле в экспериментах Галилея.

Открытие Ремера подтвердило учение Коперника о движении Земли. Он первым доказал, что скорость света велика, но все же конечна.

В 1849 г. Физо впервые определил скорость света лабораторным методом.

В его опытах свет падал от источника на полупрозрачную пластину. Предварительно свет проходил через линзу. После отражения от пластины направлялся на быстро вращающееся колесо, которое

имело зубья. Пройдя между зубьями, свет достигал зеркала, которое находилось в нескольких километрах от колеса. Отразившись от зеркала, свет, прежде чем попасть в глаз наблюдателя, должен был опять пройти между зубьями. Когда колесо вращалось медленно, свет отраженный от зеркала, был виден. При увеличении скорости колеса он постепенно исчезал. Почему?

Когда свет, прошедший между двумя зубцами, шел до зеркала и обратно, колесо успевало повернуться так, что на место прорези вставал зубец и свет переставал быть видимым. При дальнейшем увеличении скорости вращения свет опять становился видимым. За время путешествия света до зеркала и обратно колесо успевало повернуться настолько, что на место прежней прорези вставала уже новая прорезь. Зная это время и расстояние между колесом и зеркалом, можно определить скорость света. В опыте Физо скорость света получилась 313 000 км/с.

Было разработано множество других, более точных лабораторных методов измерения скорости света. Была измерена скорость света в различных прозрачных веществах. Скорость света в воде была измерена в 1856 г. Она оказалась в 4/3 раза меньше скорости света в вакууме.

По современным данным, скорость света в вакууме равна 299 792 458 м/с. Ошибка в измерениях не превышает 0,3 м/с. Более точные методы основаны не на измерении времени, а на измерении частоты и длины электромагнитной волны.

В 1983 г. на заседании Генеральной конференции мер и весов было принято новое определение метра: «Метр есть длина пути, пройденного светом в вакууме в течение временного интервала, равного $\frac{1}{299\ 792\ 458}$ с». Из этого следует, что скорость света принимается точно равной 299 792 458 м/с. Это сделано для того, чтобы каждый раз не менять определение метра по мере увеличения точности измерения расстояния.

(Учитель демонстрирует классу схему опытов Ремера, Физо, Майкельсона.)

III. Закрепление материала

- Чему приблизительно равна скорость света в вакууме?
- Объясните методы определения скорости света Ремера, Физо и Майкельсона.

IV. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 59.

Р – 1005; Р – 1000; Р – 1007.

Дополнительный материал

Биография и деятельность ученого

Олаф (Оле) Ремер родился в местечкеАаргузе в Ютландии 25 сентября 1644 г. в семье не очень удачливого купца. Начальное образование мальчик получил в местной соборной школе, а с 1662 г. продолжил учебу в Копенгагенском университете. Сначала он изучал медицину, а затем стал учеником Эразма Бартолина, под руководством которого занялся физикой и астрономией. Отношения ученика и учителя были весьма близкими: Оле жил в доме Бартолина, а через некоторое время стал его зятем.

К тому времени, когда Пикар прибыл в Данию, обсерватория Браге была почти полностью разрушена. Тем не менее, с помощью искусных помощников Пикару удалось провести запланированные наблюдения. На французского астронома, по-видимому, произвели большое впечатление энергия и способности молодого датчанина. В 1671 г. Пикар решил пригласить его во Францию для работы в Парижской обсерватории. Ремер принял приглашение Пикара. После переезда в Париж, кроме непосредственных обязанностей сотрудника обсерватории, на него возлагается еще одно ответственное поручение – обучение математике наследника французского престола. Но этим не ограничивается деятельность Ремера. В Париже он занимается разнообразными инженерными проблемами, в частности, участвует в устройстве фонтанов в Версале и Марли. В области астрономии получают известность изобретенные им планисферы – модели, с помощью которых можно было проследить за движением одного небесного тела вокруг другого; планисфера Юпитера (Йовилабиум) сыграла значительную роль в определении нерегулярностей в видимых движениях спутников Юпитера. Одним словом, в Париже Ремер сразу приступил к активной научной работе. Будучи сотрудником Кассини, он неизбежно занялся решением задач, интересовавших руководителя обсерватории. Проанализировав результаты многолетних наблюдений, датский астроном в сентябре 1676 г. выступил перед членами Парижской Академии наук с докладом, в котором предсказал, что затмение первого спутника Юпитера, которое должно было по расчетам произойти 9 ноября того же года в 5 ч. 25 мин. 45 с, в действительности будет наблюдаться на десять минут позже. Это запаздывание он объяснил конечностью скорости распространения света: по мнению Ремера, свету необходимо около 22 минут, чтобы пройти расстояние, равное диаметру земной орбиты. Наблюдение ноябрьского затмения блестяще подтвердило предсказание ученого. Это дало ему возможность выступить 21 ноября того же года с докладом о своих наблюдениях и выводах из них. В декабре изложение доклада было напечатано в «Журнале ученых» – первом в истории периодическом научном издании, выходившем в Париже. Летом 1677 г. перевод работы Ремера был опубликован в «Философских трудах» Лондонского Королевского общества.

Нахождение Ремера во Франции осложнялось двумя факторами. Во-первых, формально он не был членом Парижской Академии наук (он стал ее иностранным членом лишь в 1699 г., в один год с Ньютоном). Во-вторых, Ремер был протестантом. Его пребывание в католической Франции терпели, пока действовал так называемый Нантский эдикт, подписанный королем Франции Генрихом IV в 1598 г. и регламентировавший взаимоотношения протестантов и католиков. В конце 70-х годов XVII века политическая и религиозная обстановка во Франции стала меняться, вследствие чего положение ученых-протестантов перестало быть прочиым, и они стали покидать страну. Даже такому выдающемуся ученому как Гюйгенс, одному из первых членов Парижской Академии наук и ее фактическому руководителю, пришлось уехать на родину, в Голландию. Ремер не стал дожидаться отмены Нантского эдикта (1685 г.) и в 1681 г. вернулся в Копенгаген, где ему давно предлагали кафедру математики и звание профессора столичного университета. В дальнейшем судьба Ремера складывалась весьма необычно.

Вскоре после возвращения ученого на родину (1681 г.) датский король Христиан V назначил его королевским астрономом. Благодаря этому Ремер получил возможность пользоваться обсерваторией, располагавшейся в Круглой башне и основанной в первой половине XVII в. Король вскоре понял, насколько сведущий в технике человек находится у него на службе, и на Ремера посыпался поток назначений. По поручению короля он выполнял множество поручений инженерного характера (был смотрителем дорог королевства, занимался вопросами строительства портов и т.д.).

Но Ремер был не только прекрасным астрономом и инженером, он, по-видимому, обладал незаурядными организаторскими способностями. Он разработал новую систему налогообложения, работал в нескольких государственных ведомствах, в том числе был мэром Копенгагена в 1705 г. Видимо благодаря этим способностям Фредерик IV, сменивший на датском престоле короля Христиана V, сделал Ремера сенатором, а затем и главой Государственного совета. Кажется, что в таких условиях просто некогда было заниматься наукой. Но нет, живя на родине, Ремер ничуть не ослабил своей научной активности. Более того, он даже расширил сферу ее применения.

После смерти Ремера в его личной обсерватории было найдено 54 изобретенных им инструмента. Важнейшими из них по праву считаются пассажный инструмент и меридианный круг – приборы, используемые для астрономических наблюдений и в наши дни. За изобретательский талант Ремера справедливо прозвали «северным Архимедом». Авторитет Ремера в деле организации астрономических наблюдений был столь велик, что сам Лейбниц обращался к нему за советами по вопросу устройства обсерватории.

О результатах астрономических наблюдений Ремера, сделанных в Дании, известно мало – большая часть его записей сгорела во время пожара в 1728 г.. Такая судьба наследия Ремера тем более достойна сожаления, так как по некоторым оценкам объем проведенных им наблюдений не уступал объему наблюдений Тихо Браге, но наверняка они были выполнены с гораздо большей точностью. Та ничтожная часть записей Ремера, которую удалось спасти при пожаре его преданному ученику Питеру Горребу, была обработана немецкими астрономами в середине XIX в., что позволило опреде-

лить положение более 1000 звезд. Это лишний раз свидетельствует о значимости наблюдений выдающегося датского астронома. Не зря его имя занесено на карту Луны.

Ремер умер 19 сентября 1710 г., так и не дождавшись подтверждения открытия, обессмертившего его имя.

Реакция на открытие Ремера в мировой науке того времени

Далеко не все современники Ремера оценили его работу положительно. Мы уже знаем, что Кассини выступил против объяснения запаздывания затмений, данного Ремером. Он предложил множество причин, вследствие которых могли наблюдаться эти запаздывания. Среди них были и вытянутость орбиты спутника, и неравномерность его движения по орбите, вызванная неизвестными причинами. При публикации собственных данных по наблюдениям спутников Юпитера Кассини даже решился объявить те из них, которые подтверждали вывод Ремера, «ненадежными».

На оценке работы Ремера отрицательно сказалась «семейственность», царившая в Парижской обсерватории – все члены семьи Кассини были настроены против идеи о конечности скорости света. По-видимому, лишь один довод семейства Кассини заслуживал серьезного внимания – отсутствие аналогичных четко выраженных закономерностей в движении других спутников Юпитера. Ответ на этот вопрос Ремер не мог дать в силу неразработанности теории движения спутников больших планет, испытывающих взаимное влияние, – ведь его работа появилась за десять лет до выхода в свет ньютоновских «Математических начал натуральной философии» (1687 г.), в которых был сформулирован закон всемирного тяготения.

Выводы Ремера были положительно восприняты за рубежом: X. Гюйгенсом в Голландии, И. Ньютоном, Дж. Флемстидом, Дж. Брадлеем, Э. Галлеем в Англии, Г.В. Лейбницем в Германии, и только в стране, где было сделано открытие, – во Франции, оно не получило признания по тем же причинам, которые и вынудили Ремера уехать на родину.

Окончательно подтвердил теорию Ремера и одновременно снял возражения Декарта астроном Бредли (1693–1762) в 1725 г., когда он, пытаясь найти параллакс некоторых звезд (видимое изменение положения небесного светила вследствие перемещения наблюдателя), обнаружил, что в своей кульминации они кажутся отклоненными к югу. Наблюдения, продолжавшиеся до 1728 г., показали, что в течение года эти звезды как бы описывают эллипс. Бредли интерпретировал это явление, названное в 1729 г. Евстахием Манфреди аберрацией, как результат сложения скорости света, идущего от звезды со скоростью орбитального движения Земли.

Роберт Милликен родился 22 марта 1868 года в штате Иллинойс в семье священника. Его детство прошло в небольшом, стоявшем на берегу реки, городке Маквокета (штат Айова). «Мой отец и мать воспитали шестерых детей – трех девочек и трех мальчиков, живя на жалованье священника небольшого городка в тысячу триста долларов в год, – рассказывал он. – Мы носили костюмы и платья из синей бумажной ткани и ходили босиком, начиная с окончания школы в мае и до начала занятий в сентябре. Зимой мы, мальчики, ежедневно распиливали десять четырехфутовых бревен. Так продолжалось до тех пор, пока мы не напиливали десять кордов (1 корд = 3,63

кубометра) дров. Во время каникул по утрам мы должны были работать в саду, но после обеда у нас было свободное время для игр».

Дети плавали в реке, играли в бейсбол, два раза в день доили коров, вставали в три часа ночи, чтобы встретить бродячую цирковую труппу, выучились крутиться на самодельных параллельных брусьях и никогда не слыхали о том, что взрослый человек может заработать себе на жизнь, проводя время в лаборатории и работая над какой-то физикой. Для них слово «физика» связывалось с понятием о слабительном (разг. «physic» – слабительное).

Курс физики в средней школе Маквокеты вел сам директор, который в летние месяцы занимался главным образом поисками подземных вод при помощи раздвоенного орехового прутика и уж во всяком случае не очень то верил во всю эту ерунду, напечатанную в учебнике: «Как это можно из волн сделать звук? Ерунда, мальчики, это все ерунда?». Но зато учителя алгебры Милликен с уважением вспоминал всю жизнь.

Когда ему исполнилось восемнадцать, он поступил в Оберлинский колледж – брат его бабушки был одним из основателей этого учебного заведения. На втором курсе колледжа он вновь прослушал курс лекций по физике, которые были ничуть не веселее тех, что ему читали в средней школе. Навыки в спортивных играх и атлетике, приобретенные в детстве на задних дворах, помогли ему получить место преподавателя гимнастики, а доход от преподавания физики в средней школе еще более укрепил его финансовое положение.

Милликен, надо сказать, добросовестно относился к своим преподавательским обязанностям. Чтобы идти впереди своих учеников, он изучал все учебники, какие только мог достать. В то время в американских колледжах было всего две книги по физике – переведенные с французского языка работы Гано и Дешанеля.

При таких обстоятельствах Милликен действительно хорошо научил предмет.

По окончании колледжа в 1891 году Милликен продолжал преподавать физику в Оберлине, получая небольшое жалованье. Он был вынужден заниматься этим, ибо, как говорил он сам, «в тот год депрессии никакой вакансии не было». Однако преподаватели Оберлина значительно серьезнее относились к роли Милликена в науке, чем он сам, и без его ведома направили его документы в Колумбийский университет. Ему была предложена стипендия, и Милликен поступил в университет, ибо другой возможности получать регулярно 700 долларов у него не было. В Колумбийском университете он впервые встретился с людьми, глубоко интересовавшимися физикой, Милликен решил последовать их примеру и попытаться стать настоящим ученым, несмотря на то, что уже много лет терзался сомнениями относительно своих способностей.

В 1893 году наука в Америке была отсталой. Только люди, получившие образование в Европе, хорошо представляли себе, как именно следует вести научно-исследовательскую работу. На физическом факультете Колумбийского университета был только один такой человек – профессор Майкл Пьюпин, получивший образование в Кембридже. Милликен говорил: «Слушая курс оптики, который читал доктор Пьюпин, я все больше удивлялся.

Впервые в жизни я встретил человека, который настолько хорошо знал аналитические процессы, что, не готовясь к занятиям, приходил ежедневно в аудиторию и излагал свои мысли в виде уравнений. Я решил попытаться научиться делать то же самое». Когда срок стипендии, назначенный Милликену для изучения физики, истек, она не была возобновлена: Пьюпин предпочел Милликену другого кандидата.

Когда Пьюпин узнал, что Милликен остался без всяких средств к существованию, он заинтересовался его судьбой. На следующий год именно по настоянию Пьюпина Милликен решил поехать учиться в Германию. Милликену пришлось признаться, что у него нет средств, и Пьюпин дал ему взаймы необходимую сумму. Пьюпин хотел подарить ему эти деньги, но Милликен не согласился и вручил Пьюпину расписку в получении денег.

Перед самым отъездом Милликен встретился еще с одним человеком, сыгравшим значительную роль в его жизни. Во время летней сессии Милликен побывал в недавно открытом Чикагском университете, где познакомился с А. А. Майкельсоном. Ни один человек никогда не производил на молодого ученого столь сильного впечатления. В этом же университете Пьюпин в 1895 году получил докторскую степень.

Милликен находился в Европе (работал в Берлинском и Геттингенском университетах), когда за серией экспериментальных работ последовал грандиозный взрыв всех классических теорий. В 1895 и 1896 годах прозвучали в науке имена Беккереля, Рентгена, Кюри и Томсона.

Брожение еще продолжалось, когда летом 1896 года Милликен получил от А. А. Майкельсона телеграмму с предложением занять место ассистента в Чикагском университете. Милликену было тогда 28 лет. «Я отдал мою одежду вместе с чемоданом в заклад капитану одного из судов Американской транспортной линии, заверив компанию, что я выплачу капитану стоимость проезда в Нью-Йорке и только после этого приду за вещами».

Следующие двенадцать лет Милликен провел в обстановке неутомимой научной активности, характерной для Чикаго в начале века. Чикагский университет собрал в своих стенах молодых людей, которых в скором времени ожидала широкая известность: астронома Джорджа Гейля, историка Джеймса Брестеда, экономиста Стефена Ликона, Роберта Ловетта и многих, многих других. В одном пансионе с Милликеном проживали двое юношей: Торстейн Веблен и Гарольд Икс.

Первые годы, проведенные в Чикаго, Милликен посвятил написанию удобоваримых американских учебников по физике и заботам о своей молодой семье. Майкельсон взвалил на него всю преподавательскую работу, которая не соответствовала нраву старика.

В годы Первой мировой войны (1914–1918) Милликен был заместителем председателя национального исследовательского совета (разрабатывал метеорологические приборы для обнаружения подводных лодок).

Милликен начал серьезно заниматься научно-исследовательской работой, когда ему было почти сорок лет. Проблемы для исследования обычно выбирались им из числа тех, которые так потрясли ученый мир, когда он еще был в Европе. Милликен, поневоле ставший физиком, поставил два эксперимента, которые и поныне являются классическим образцом изящест-

ва замысла и воплощения. Он заслужил полученную им Нобелевскую премию (в 1923 году).

Урок 62. Преломление света

Цель: углубить и систематизировать знания учащихся об особенностях распространения света на границе раздела двух сред.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Проведение лабораторной работы

Лабораторная работа по теме «Изучение отражения света в плоском зеркале»

Цель работы: экспериментальная проверка закона отражения.

Оборудование: плоское зеркало, лист чистой бумаги, экран со щелью, транспортир, карандаш, свеча (или другой источник света), спички.

Ход работы

1. Расположите оборудование согласно рис. 52.

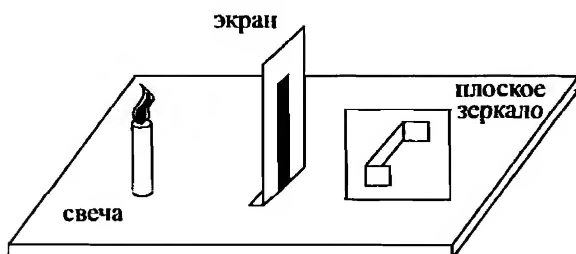


Рис. 52

2. Зажгите свечу и с помощью экрана с щелью выделите узкий пучок света. Этот пучок направьте на плоское зеркало.

3. Карандашом проведите на листе чистой бумаги линию по направлению падающего и отраженного светового луча, а также вдоль поверхности зеркала. В точку падения луча поставьте перпендикуляр к поверхности зеркала. На листе бумаги укажите падающий отраженный луч, перпендикуляр, плоскость зеркала, углы падения и отражения.

4. С помощью транспортира измерьте углы падения и отражения лучей. Меняя положение зеркала, замерьте новые значения углов падения и отражения.

5. Таблица.

Номер опыта	Угол падения	Угол отражения	Сравнение углов падения и отражения
1			
2			
3			
4			
5			

III. Изучение нового материала

На границе двух фаз свет меняет направление своего распространения. Часть световой энергии возвращается в первую среду, т.е. происходит отражение света. Но часть света, если вторая среда прозрачна, проходит через границу раздела сред так же, как правило, меняя при этом направление. Данное явление называют преломлением света.

Эксперимент с оптической шайбой

Шайбу закрепляют на диске. Через осветитель получают узкий пучок света. Световой пучок идет от осветителя вдоль радиуса диска и на границе – стекло частично отражается, частично преломляется.

Датский астроном и математик В. Снелл до Х. Гюйгенса и И. Ньютона в 1621 г. экспериментально открыл закон преломления света:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{\upsilon_1}{\upsilon_2} = const\ .$$

$$n_2 > n_1;$$

$$\upsilon_2 < \upsilon_1.$$

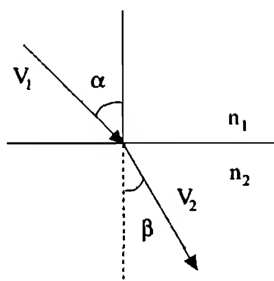


Рис. 53

Абсолютный показатель преломления данной среды:

$$n = \frac{c}{\upsilon}.$$

Если $n_1 < n_2$, то $\alpha > \beta$;

если $n_1 < n_2$, то $\alpha > \beta$.

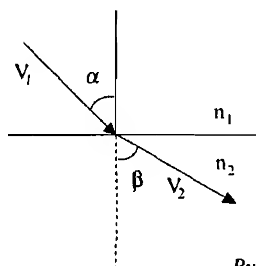


Рис. 54

Применим принцип Гюйгенса для вывода закона преломления:

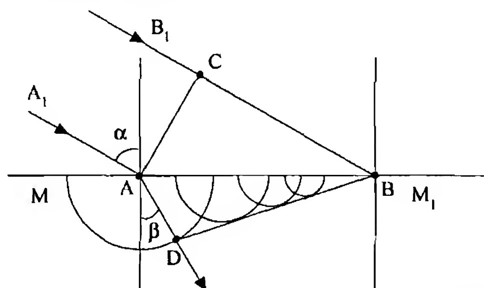


Рис. 55

MM' – граница раздела двух сред;
A_1A и B_1B – падающие лучи;
AA_2 и BB_2 – преломленные лучи.
α – угол падения; β – угол преломления.

$$\left.\begin{aligned} \sin\alpha &= \frac{BC}{AB} = \frac{\upsilon_1 \Delta t}{AB} \\ \sin\beta &= \frac{AD}{AB} = \frac{\upsilon_2 \Delta t}{AB} \end{aligned}\right\} \quad \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{\upsilon_1}{\upsilon_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}.$$

где n_{21} – постоянная величина двух сред.

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\upsilon_1}{\upsilon_2} = n_{21},$$

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\upsilon_1}{\upsilon_2},$$

$$n_1 \sin\alpha = n_2 \sin\beta.$$

Закон преломления

1. Луч падающий и луч преломленный лежат в одной плоскости с перпендикуляром, поставленным в точке падения луча к поверхности раздела двух сред.

2. Отношение синуса падения к синусу угла преломления для двух данных сред есть величина постоянная (для монохроматического света).

Выведем закон преломления света, используя принцип Ферма.

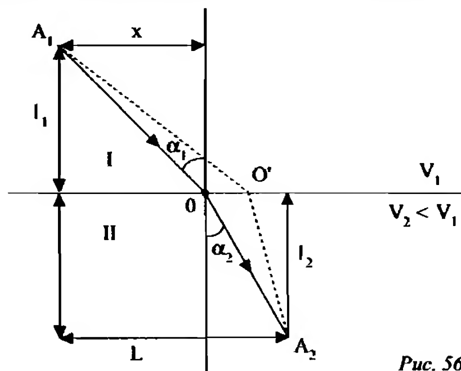


Рис. 56

Пусть в среде I скорость света υ_1, в среде II – скорость света υ_2. Для прохождения света из точку A_1 в точку A_2 будет затрачено время:

$$t=\frac{\sqrt{l_1^2+x^2}}{\upsilon_1}+\frac{\sqrt{l_2^2+(L-x)^2}}{\upsilon_2}.$$

Выберем из всех возможных траекторий распространения света ту, которой соответствует минимальное время распространения. Продифференцируем и приравняем производную к нулю:

$$\frac{\partial t}{\partial x}=tx'=\frac{1}{\upsilon_1}\frac{x}{A_1 0}-\frac{1}{\upsilon_2}\frac{L-x}{0A_2}=0.$$

Учитывая, что $\sin\alpha_1=\frac{x}{A_1 0}$, $\sin\alpha_2=\frac{L-x}{0A_2}$, получим:

$$\frac{\sin\alpha_1}{\upsilon_1}-\frac{\sin\alpha_2}{\upsilon_2}=0\Rightarrow\frac{\sin\alpha_1}{\sin\alpha_2}=\frac{\upsilon_1}{\upsilon_2}=\frac{c}{n_1}:\frac{c}{n_2}=\frac{n_2}{n_1}.$$

Это и есть закон преломления света. Запишем его в более удобной форме: $n_2\sin\alpha=n_1\sin\alpha_1$.

На границе раздела двух сред практически всегда пучок света разделяется на два – отраженный и преломленный.

IV. Закрепление материала

- Что называется преломлением света?
- Сформулируйте и запишите законы преломления света.
- Какой физический смысл относительного показателя преломления? Абсолютного показателя преломления?
- Напишите формулу, выражающую связь относительно показателя преломления двух граничащих сред с их абсолютными показателями преломления.

V. Решение задач

Задача № 1

На дне ручья лежит камень (см. рис. 57). Мальчик хочет толкнуть его палкой. Прицеливаясь, мальчик держит палку под углом 45°. На каком расстоянии от камешка воткнется палка в дно ручья, если глубина его 50 см?

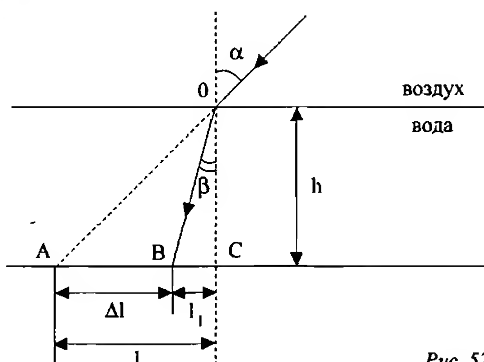


Рис. 57

Дано:	Решение:
$\alpha = 45°$;	$\Delta l = l - l_1$.
$n_1 = 1$;	Рассмотрим $\Delta A0C$:
$n_2 = 1{,}33$;	$\angle A0C = \angle\alpha$; $\angle A0C = 45°$; $\angle C0A = 90°$.
$h = 0{,}5$ м.	$0C = AC = h = l$.
Δl – ?	$l_1 = h \cdot tg\beta$.

Согласно закону преломления: $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1}$, отсюда $\sin\beta = \frac{\sin\alpha}{n_2}$,

$n_1 = 1$. $\Delta l = h - h\,tg\beta = h(1 - tg\beta)$;

$\beta = \arcsin\left(\frac{\sin\alpha}{n_2}\right)$; $\beta = \arcsin\left(\frac{\sin 45°}{1{,}33}\right) \approx 32°$.

(*Ответ:* $\Delta l \approx 0{,}19$ м.)

Задача № 2

Луч света падает на границу раздела двух сред под углом 32° (см. рис. 58). Абсолютный показатель преломления первой среды 2,4. Преломленный луч перпендикулярен отраженному. Каков абсолютный показатель преломления второй среды?

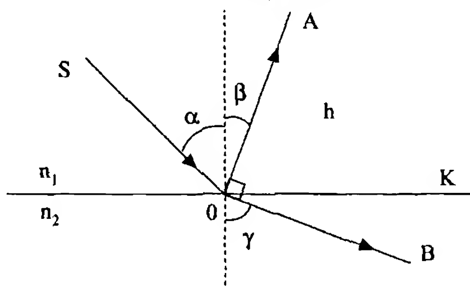


Рис. 58

Дано:	**Решение:**
$\alpha = 32°$; $n_1 = 2,4$; $0A \perp 0B$.	$\dfrac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = \dfrac{n_1}{n_2}$.
$n_2 - ?$	Из рисунка видно, что $\angle K0B = \beta$; $\angle K0A = \gamma$; $\alpha = \beta$. $\angle K0B + \angle K0A = 90°$; $\alpha + \gamma = 90°$.

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = \frac{\sin\alpha}{\sin(90-\alpha)} = \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = tg\alpha = \frac{n_2}{n_1};\ n_2 = n_1\, tg\alpha = 1,5.$$

(*Ответ:* $n_2 = 1,5$.)

Задача № 3

Световой луч падает под углом α = 30° на плоскопараллельную пластинку толщиной d = 10 см (см. рис. 59). Определить смещение луча пластинкой, если она погружена в сероводород и воду $n_1 = 1,63$, $n_2 = 1,5$.

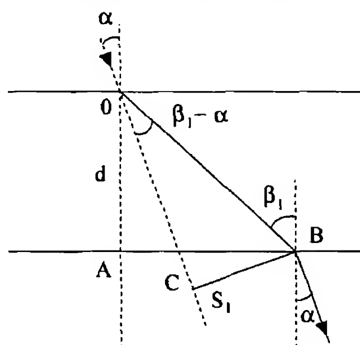


Рис. 59

Дано:	**Решение:**
α = 30°; d = 10 см; n_1 = 1,63; n_2 = 1,5.	Из Δ0AB и ΔC0B для одной и той же гипотезы 0B: $\frac{S_1}{\sin(\beta_1-\alpha)}=\frac{\partial}{\cos\beta_1}$; $S_1=\frac{\partial\sin(\beta_1-\alpha)}{\cos\beta_1}$.
S – ?	Так как $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta_1}=\frac{n_2}{n_1}$, $\sin\beta_1=\frac{n_1\sin\alpha}{n_2}$;

$$\cos\beta_1=\sqrt{1-\sin^2\beta_1}=\frac{1}{n_2}\sqrt{n_2^2-n_1^2\sin^2\alpha};$$

$$S_1=\partial\left(\frac{\sin 2\alpha}{2\sqrt{\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2-\sin^2\alpha}}-\sin\alpha\right)\approx 6\ \text{см}.$$

(*Ответ:* S = 7,2 см.)

VI. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 61.

Дополнительный материал

Первые шаги в развитии геометрической оптики

В оптике, так же как и в механике, первые шаги были сделаны уже в древности. Тогда были открыты два закона геометрической оптики: закон прямолинейного распространения света и закон отражения света.

К познанию этих законов древние пришли, вероятно, очень давно. Опыт повседневной жизни: наблюдение тени, перспективы, применение метода визирования при измерении земельных площадей и при астрономических наблюдениях – приводил древних, во-первых, к понятию луча света, а во-вторых, к понятию прямолинейного распространения света.

Наблюдая затем явление отражения света, в частности, в металлических зеркалах, которые хорошо были известны в то время, древние пришли к пониманию закона отражения света.

Указанные два закона были описаны знаменитым греческим ученым Евклидом, жившим в III в. до н. э. С помощью этих законов Евклид объяснил целый ряд наблюдаемых явлений и, в частности, явлений отражения света от плоских и даже сферических зеркал.

Исследованием отражения света плоскими и сферическими зеркалами занимался другой знаменитый ученый древности – Архимед, живший также в III в. до н. э. Он знал свойство вогнутого сферического зеркала собирать световые лучи в фокусе. Об этом сообщается в сочинениях ученых древно-

сти: Архимед знал, «почему вогнутые зеркала, помещенные против солнца, зажигают подложенный трут».

Архимеду даже приписывают изобретение специальных зажигательных устройств из вогнутых зеркал, с помощью которых он будто бы сжег вражеский флот. Это, конечно, легенда. Но то, что Архимед знал зажигательное свойство вогнутого зеркала, это факт.

Ученые древности имели представление о преломлении света и даже пытались установить закон преломления. Птолемей поставил с этой целью специальный опыт. Он взял диск, по которому вокруг центра вращались две линейки – указатели А и Б. Этот диск Птолемей наполовину погружал в воду и перемещал верхнюю линейку до тех пор, пока она не казалась продолжением нижней, находящейся в воде. Вынув затем диск из воды, он определял углы падения и преломления.

Однако хотя эксперимент Птолемея и был поставлен правильно и он получил достаточно хорошие численные значения для углов падения и преломления, истинного закона он установить не сумел.

В Средние века оптика продолжала развиваться на Востоке, а затем и в Европе. Однако каких-либо новых существенных результатов за этот длительный период в жизни человечества получено не было. Единственным важным достижением за это время было изобретение в XIII в. очков. Но это изобретение существенным образом не повлияло на развитие теоретической оптики.

Следующим важнейшим изобретением, сыгравшим очень большую роль в последующем развитии оптики, было создание зрительной трубы.

Зрительная труба была изобретена не одним человеком. Возможно, что еще великий итальянский художник Леонардо да Винчи в самом начале XVI в. пользовался зрительной трубой.

Имеются сведения о других ученых и изобретателях, которые также пришли к этому изобретению.

Однако решающий шаг в изобретении зрительной трубы был сделан Галилеем.

В 1609 г. Галилей построил зрительную трубу. Свое изобретение он использовал как телескоп для наблюдения небесных тел и сделал при этом целый ряд важнейших астрономических открытий, которые дали ему возможность выступить в защиту учения Коперника. Однако Галилей не занимался теоретическими исследованиями по оптике. Он даже не разобрал теорию действия изобретенной им зрительной трубы.

Основы теории простейших оптических инструментов разработал великий немецкий астроном Иоганн Кеплер (1571–1630). Еще в 1604 г. он написал работу, в которой изложил основы геометрической оптики.

Он объяснил действие глаза и оптического прибора вообще, рассматривая каждую точку предмета как источник расходящихся лучей. Хрусталик глаза, зеркало, линза или система линз могут вновь собрать эти расходящиеся лучи и из расходящегося пучка сделать сходящийся. Причем эти лучи опять соберутся в одну точку, которая будет представлять собой изображение точки предмета. Таким образом, каждой точке изображения соответствует одна и только одна точка предмета.

Кеплер рассматривал с этой точки зрения ход лучей в простейших оптических приборах, в двояковыпуклой и двояковогнутой линзе, поставленных друг за другом. Эта система линз представляла собой систему, примененную Галилеем в его зрительной трубе – телескопе.

В 1611 г. Кеплер издал новое сочинение по оптике. В нем ученый продолжал развивать теорию оптических приборов. В частности, он описал здесь зрительную трубу, отличную от трубы Галилея, которая оказалась более удачной. Труба Кеплера состояла из двух двояковыпуклых линз. Сам Кеплер только описал ее устройство, но трубы не построил. Ее сделали другие ученые.

Разработав теорию построения изображения в оптических приборах, Кеплер ввел новые понятии: «фокус» и «оптическая ось». Эти понятия применяются и в настоящее время в оптике.

Следующим важным шагом в развитии оптики было открытие закона преломления света.

Кеплер еще не знал этого закона. Закон, которым он пользовался, был неверным. Однако это не помешало ученому в его исследованиях. Дело в том, что во всех случаях, которые Кеплер рассматривал, можно было считать, что световые лучи проходит Закон, которым пользовался Кеплер для малых углов падения и преломления, приводил к правильным результатам.

Закон преломления света был установлен голландским ученым Снеллиусом, но он его не опубликовал. Этот закон был опубликован Декартом в 1637 г. Теперь геометрическая оптика, фундамент которой заложил Кеплер, могла развиваться дальше.

Урок 63. Принцип Гюйгенса. Закон отражения света

Цели: познакомить учащихся с особенностью распространения света на границе раздела двух сред; сформулировать принцип Гюйгенса.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение изученного

1. Вопросы для повторения.
   - Что такое свет?
   - Как называется раздел физики, изучающий световые явления?
   - Какие источники света вы знаете?
   - Какая среда называется оптически однородной?
   - Как распространяется свет в однородной оптической среде?
   - Какие опыты доказывают, что свет в оптически однородной среде распространяется прямолинейно?

2. Анализ экспериментов.

1. Поставьте две одинаковые свечи на расстоянии 50–60 см от экрана. Посередине между экраном и свечами вертикально поместите линейку. Зажгите свечи. Что получилось на экране? Зарисуйте в тетради, что у вас получилось.

2. Произвольно перемещайте экран и линейку. Зафиксируйте изменения очертаний теней и полутеней.

3. Погасите одну свечу. Изменилось ли при этом изображение на экране? Если изменилось, то как?

4. Поместите экран на расстояние 50–60 см от зажженных свечей. Между экраном и свечами поместите карандаш сначала вертикально, а потом горизонтально. Результат занесите в тетрадь.

– Что доказывают данные опыты?

III. Изучение нового материала

В оптике, так же как и в механике, первые шаги были сделаны в древности. Тогда были открыты два закона геометрической оптики: закон прямолинейного распространения света и закон отражения. К познанию этих законов древние пришли, вероятно, очень давно. Опыт повседневной жизни: наблюдение тени, применение метода визирования при измерении земельных площадей и при астрономических наблюдениях – приводил древних, во-первых, к понятию луча света, а во-вторых, к понятию прямолинейного распространения света. Наблюдая затем явления отражения света, в частности, в металлических зеркалах, которые были хорошо известны в то время, древние пришли к пониманию закона отражения. Данные законы были описаны знаменитым греческим ученым Евклидом, жившим в III веке до н.э.

Законы отражения света можно вывести из принципа описывающего поведение волн. Этот принцип впервые был выдвинут современником Ньютона – Христианом Гюйгенсом.

Согласно принципу Гюйгенса, каждая точка среды, до которой дошло возмущение, сама становится источником вторичных волн.

Этот принцип пригоден для описания распространения волн любой природы: механических, световых.

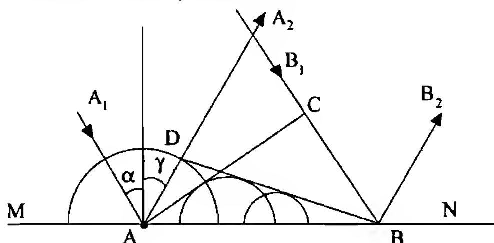


Рис. 60

MN – отражение поверхности;

A_1A и B_1B – два луча падающей волны;

AC – волновая поверхность;

α – угол падения.

Волновую поверхность отраженной волны можно получить, если провести огибающую вторичных волн, центры которых лежат на границе раздела сред. Различные участки волн поверхности AC достигают отражающей границы не одновременно. В точке A раньше, чем в точке B на время $\Delta t = \frac{CB}{\upsilon}$. Когда волна достигает точки B, в этой точке начинается возбуждение вторичной волны с центром в точке A:

$$r = AD = \upsilon\Delta t - CB.$$

Отраженные лучи AA_2 и BB_2 перпендикулярны волновой поверхности BD. Угол γ – угол отражения. Так как AD = CB, ΔADB и ΔACB – прямоугольники, то $\angle DBA = \angle CAB \Rightarrow \alpha = \gamma \Rightarrow$ угол падения равен углу отражения.

Падающий луч, луч отраженный и перпендикуляр, поставленный в точке падения, лежат в одной плоскости. Это и есть закон отражения.

В середине XVII в. французский ученый П. Ферма выдвинул принцип, из которого вытекали все законы оптики.

Свет, идущий из одной точки пространства в другую, всегда распространяется по пути, требующему минимального времени.

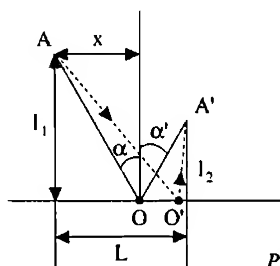


Рис. 61

Пусть на зеркальную поверхность падает свет из точки A. В точке A' собираются лучи, отраженные от зеркала.

Предположим, что свет из точки A в точку A' может попасть двумя путями, отражаясь от точек 0 и $0'$. Время прохождения через точку 0:

$$t = \frac{A0}{\upsilon} + \frac{0A'}{\upsilon} = \frac{\sqrt{l_1^2 + x^2}}{\upsilon} + \frac{\sqrt{l_2^2 + (L-x)^2}}{\upsilon},$$

где υ – скорость света.

Покажем, что время прохождения света по траектории А0 A' меньше, чем по траектории А $0'$ A'. Найдем производную и приравняем к нулю:

$$\frac{\partial t}{\partial x} = t'_x = \frac{l}{\upsilon}\frac{x}{A0} - \frac{1}{\upsilon}\frac{L-x}{0A'} = \frac{1}{\upsilon}(\sin\alpha - \sin\alpha') = 0;$$

$$\sin\alpha = \frac{x}{0A};$$

$$\sin\alpha' = \frac{L-x}{0A'} \Rightarrow \alpha = \alpha'.$$

В зависимости от свойств и качества отражающей поверхности отражение может иметь различный характер. Различают отражение зеркальное (правильное) и рассеянное.

Если отражающая поверхность имеет вид поверхности, размеры неровностей которой меньше длины световой волны, то она называется зеркальной.

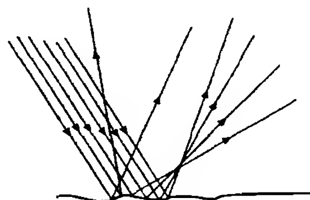


Рис. 62

Если размеры неровностей соразмерны с длиной волны или ее превышают, такое отражение называют рассеянным или диффузным.

Диффузное отражение позволяет нам видеть предметы, оно имеет место в малой степени и при отражении от самой гладкой поверхности. Иначе мы не могли бы увидеть поверхность зеркала.

Плоское зеркало

Плоским зеркалом называют плоскую поверхность зеркально отражающую свет. Изображение предмета в плоском зеркале мнимое, симметричное предмету относительно зеркала. Изображение равно по размеру предмету.

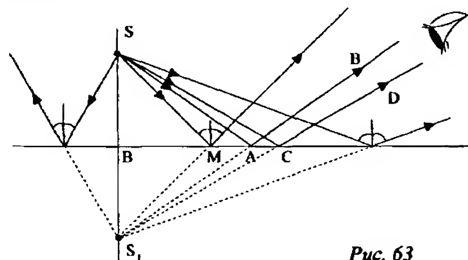


Рис. 63

Плоские зеркала имеют широкое применение. Устанавливаются в салонах автомобилей, для декоративного оформления внутри магазинов, в шкалах измерительных приборов высокой точности.

Широко применяется на практике устройство, состоящее из трех взаимно перпендикулярных зеркал. Устройство называют уголковым отражателем. Он обладает замечательным свойством: при любом угле падения луч падающий и луч, последовательно отразившийся от трех зеркал, – оказываются параллельными.

Уголковые отражатели доставлены на Луну и используются для точного измерения расстояния до нее с помощью лазерных лучей. Погрешность измерения составляет всего лишь 0,1 м.

Большое распространение получили катафоты – красные отражатели света, устанавливаемые на автомобилях, велосипедах и дорожных знаках. Катафот представляет собой мозаику трехгранных зеркальных углов.

IV. Закрепление изученного

– В чем заключается принцип Гюйгенса?
– В чем заключается принцип Ферма?
– Какое отражение называется диффузным, зеркальным?
– Сформулируйте закон прямолинейного распространения света.
– Сформулируйте закон отражения.
– Что такое плоское зеркало? Где оно применяется?

V. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 60.

Изготовьте модель перископа и испытайте.

Урок 64. Решение задач на тему «Преломление света на плоской границе»

Цель: научить пользоваться теоретическими знаниями на практике.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение изученного

– В каком случае угол падения равен углу отражения?
– Почему, находясь в лодке, трудно попасть копьем в рыбу?
– Почему изображение предмета в воде всегда менее яркое, чем сам предмет?

– Что происходит при переходе луча в оптически менее плотную среду с углом преломления?
– Как изменилось бы видимое расположение звезд на небе, если бы исчезла атмосфера Земли?

III. Решение задач

1. Под каким углом α должен падать на границу раздела сред луч, идущий из воздуха в жидкость, чтобы угол преломления был в два раза меньше угла падения (см. рис 64.)? Скорость света в вакууме $c = 3\cdot 10^8$ м/с, скорость света в жидкости $\upsilon = 1{,}73\cdot 10^8$ м/с.

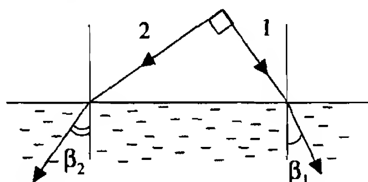


Рис. 64

(*Ответ:* $\alpha = 2\arccos\dfrac{c}{2\upsilon} \approx \dfrac{\pi}{3}$; $\alpha = 60°$.)

2. В воздухе длина волны монохроматического света $\lambda_1 = 0{,}6$ мкм. При переходе в стекло длина волны становится равной $\lambda_2 = 0{,}42$ мкм. Под каким углом падения α свет падает на плоскую границу раздела воздух – стекло, если отраженный и преломленный лучи образуют прямой угол?

(*Ответ:* $\alpha = arctg\dfrac{\lambda_1}{\lambda_2} \approx 0{,}96$; $\alpha \approx 55°$.)

3. Луч света попадает из воздуха в скипидар. Найдите показатель преломления n скипидара, если известно, что при угле падения $\alpha = 45°$, угол преломления $\beta = 30°$.

(*Ответ:* $n = \dfrac{\sin\alpha}{\sin\beta} \approx 1{,}4$.)

4. Найдите угол падения α луча на поверхность воды, если известно, что он больше угла преломления $\varphi = 30°$.

(*Ответ:* $\alpha = arctg\dfrac{n\sin\varphi}{n\cos\varphi - 1} \approx 1{,}35$; $\alpha \approx 77°$.)

5. Свет падает на плоскую границу раздела воздух – стекло. Показатель преломления стекла $n = 1{,}5$. Найдите угол падения α луча, если угол между отраженным и преломленным лучами прямой.

(*Ответ:* $\alpha = arctg\, n \approx 0{,}98$; $\alpha \approx 56°$.)

6. Взаимно перпендикулярные лучи 1 и 2 идут из воздуха в жидкость. Углы преломления $\beta_1 = 30°$, $\beta_2 = 45°$. Найдите показатель преломления *n* жидкости.

(*Ответ:* $n = \dfrac{1}{\sqrt{\sin^2\beta_1 + \sin^2\beta_2}} \approx 1{,}15$.)

7. В горизонтальное дно пруда вертикально вбит шест высотой $H = 1{,}25$ м. Определите длину тени от шеста на дне пруда, если солнечные лучи падают на поверхность воды под углом падения $\alpha = 60°$, а шест целиком находится в воде. Показатель преломления воды $n = 4/3$.

(*Ответ:* $l = H\dfrac{\sin\alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}} \approx 1{,}1$ м.)

8. В дно водоема глубиной $H = 2$ м вбита вертикальная свая, на $h = 0{,}5$ м выступающая над водой. Найдите длину тени от сваи на горизонтальном дне водоема, если высота Солнца над горизонтом $\delta = 60°$. Показатель преломления воды $n = 4/3$.

(*Ответ:* $l = h\,ctg\delta + H\dfrac{\cos\delta}{\sqrt{n^2 - \cos^2\delta}} \approx 1{,}1$ м.)

9. Мальчик старается попасть палкой в предмет, находящийся на горизонтальном дне ручья глубиной $H = 40$ см. На каком расстоянии *l* от предмета палка попадает в дно ручья, если мальчик, точно нацелившись, двигает палку под углом $\delta = 45°$ к поверхности воды? Показатель преломления воды $n = 4/3$.

(*Ответ:* $l = H\cos\delta\left(\dfrac{1}{\sin\delta} - \dfrac{1}{\sqrt{n^2 - \cos^2\delta}}\right) \approx 0{,}15$ м.)

10. Какова истинная глубина *H* озера, если изображение дна находится на расстоянии $h = 2$ м от поверхности воды? Показатель преломления воды $n = 1{,}33$. Наблюдение ведется вдоль вертикали.

(*Ответ:* $H = nh \approx 2{,}7$ м.)

11. В сосуд налиты две несмешивающиеся жидкости. Сверху находится жидкость с показателем преломления $n_1 = 1{,}3$. Толщина ее слоя $H_1 = 3$ см. Показатель преломления жидкости $n_2 = 1{,}5$, толщина слоя $H_2 = 5$ см. На какой глубине *h* расположено изображение дна сосуда, если смотреть на него сверху вдоль вертикали?

(*Ответ:* $h = \dfrac{H_1}{n_1} + \dfrac{H_2}{n_2} \approx 5{,}6$ см.)

IV. Подведение итогов урока

Домашнее задание

Р – 1022; Р – 1023.

Урок 65. Решение задач

Цель: отработка практических навыков при решении задач.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Решение задач

1. Угол падения луча из воздуха на стеклянную плоскопараллельную пластину толщиной d = 1 см и показателем преломления n = 1,5 равен углу полного отражения для этой пары сред. Найдите смещение S луча в результате прохождения сквозь пластинку, то есть расстояние между продолжением попадающего луча и вышедшим лучом.

(*Ответ:* $S=\frac{d}{n}\left(1-\frac{1}{\sqrt{n^2+1}}\right)\approx 0{,}3$ см.)

2. Найдите смещение S луча, проходящего через прозрачную плоскопараллельную пластинку, если угол падения луча α, угол преломления β, толщина пластинки d.

(*Ответ:* $S=\frac{\sin(\alpha-\beta)}{\cos\beta}d$.)

3. Луч света падает под углом падения α = 30° на плоскопараллельную стеклянную пластинку. Найдите толщину d пластинки, если расстояние между продолжением падающего луча и вышедшим лучом S = 1,94 см. Показатель преломления стекла n = 1,5.

(*Ответ:* $d=\frac{S}{\sin\alpha\left(1-\frac{\cos\alpha}{\sqrt{n^2-\sin^2\alpha}}\right)}\approx 0{,}1$ м.)

4. Пучок параллельных лучей падает на толстую стеклянную пластинку под углом падения α = 60° и, преломляясь, переходит в стекло. Ширина пучка в воздухе a = 10 см. Определите ширину b пучка в стекле. Показатель преломления стекла n = 1,5.

(*Ответ:* $b=a\frac{\sqrt{n^2-\sin^2\alpha}}{n\cos\alpha}\approx 0{,}16$ м.)

5. В оптическом стекле с показателем $n=\sqrt{3}$ имеется наполненная воздухом полость в виде плоскопараллельной пластинки толщи-

ной d = 0,2 см. Луч света падает на границу раздела стекло – воздух под углом падения α = 30°. Найдите смещение S луча после прохождения воздушной полости.

(*Ответ:* $S = d\sin\alpha\left(\frac{n\cos\alpha}{\sqrt{1-n^2\cdot\sin^2\alpha}}-1\right) = 0{,}2$ см.)

6. Может ли луч, пройдя сквозь пластинку с параллельными гранями, сместиться на расстояние больше толщины пластинки? Пластинка погружена в оптически однородную среду.

(*Ответ:* Пусть показатель преломления n_1 среды больше показателя преломления n_2 материала пластинки. Из опыта предыдущей задачи следует, что если угол падения α приближается полного отражения, то выражение в скобках неограниченно возрастает, так что смещение луча может быть больше толщины пластинки.)

7. Определите время T прохождения света через плоскопараллельную стеклянную пластинку толщиной $d = 3\cdot10^{-3}$ м. Угол падения луча на пластинку α = 30°. Показатель преломления стекла n = 1,5. Скорость света в вакууме $c = 3\cdot10^8$ м/с.

(*Ответ:* $T = \frac{d}{c}\frac{n^2}{\sqrt{n^2-\sin^2\alpha}} \approx 1{,}6\cdot10^{-11}$ с.)

8. Луч света падения α = 60°. Время прохождения света через пластинку $T = 1\cdot10^{-10}$ с. Определите толщину d пластинки. Показатель преломления стекла n = 1,5, скорость света в вакууме $c = 3\cdot10^8$ м/с.

(*Ответ:* $d = c\cdot T\frac{\sqrt{n^2-\sin^2\alpha}}{n^2} \approx 1{,}6\cdot10^{-2}$ м.)

9. Две плоскопараллельные пластинки одинаковой толщины с показателями преломления n_1 = 1,5 и n_2 = 2 соответственно прижаты друг к другу. На первую пластинку падает из воздуха луч света под углом падения α = 30°. Найдите отношение $\frac{T_1}{T_2}$ времен прохождения света через первую и вторую пластинки.

(*Ответ:* $\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2\cdot\frac{\sqrt{n_2^2-\sin^2\alpha}}{\sqrt{n_1^2-\sin^2\alpha}} \approx 0{,}77$.)

III. Подведение итогов урока

Домашнее задание

Р – 1026; Р – 1034.

Урок 66. Полное внутреннее отражение

Цель: познакомить с явлением полного внутреннего отражения.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение изученного материала

- Что такое преломление света?
- Какая среда называется оптически более плотной или менее плотной?
- Почему наблюдателю, смотрящему сверху на воду, глубина реки кажется меньше, чем на самом деле?
- Сформулируйте закон преломления.
- Сделайте чертеж и дайте объяснение, в каком случае угол преломления больше угла падения.

III. Проведение самостоятельной работы

Вариант I

1. В каком случае угол преломления равен углу падения?
   А. Только тогда, когда показатели преломления двух сред одинаковы.
   Б. Только тогда, когда падающий луч перпендикулярен к поверхности раздела сред.
   В. Когда показатели преломления двух сред одинаковы; падающий луч перпендикулярен к поверхности раздела сред.

2. Почему, находясь в лодке, трудно попасть копьем в рыбу, плавающую невдалеке?
   А. Так как изображение рыбы в воде мнимое и приподнято к поверхности воды.
   Б. Так как изображение рыбы в воде мнимое и смещено в противоположную сторону от лодки.
   В. Так как изображение рыбы в воде действительное, но приподнято к поверхности воды.

3. Если рассматривать дно водоема на глубине 2,66 м, то будет казаться, что глубина равна:
   А. 2 м.
   Б. 1,38 м.
   В. 2,66 м.

4. Почему изображение предмета в воде всегда менее яркое, чем сам предмет?
   А. На границе сред воздух – вода свет поглощается.

Б. На границе сред воздух – вода свет частично отражается, частично преломляется.

В. На границе сред воздух – вода свет преломляется.

5. Водолаз рассматривает из воды светящуюся лампу, подвешенную от поверхности воды на высоте 1 м. Ему будет казаться, что высота:

А. Больше 1 м.

Б. Меньше 1 м.

В. Равна 1 м.

6. Если угол падения луча на поверхность раздела двух сред увеличивается, то относительный показатель преломления этих сред:

А. Увеличивается.

Б. Уменьшается.

В. Не изменяется.

(*Ответы:* 1. В; 2. А; 3. А; 4. Б; 5. А; 6. В.)

Вариант II

1. Два человека, стоящие по разные стороны стеклянной двери лицом друг к другу, могут одновременно видеть внутренность помещения. Почему это происходит? Для кого из них картина будет более яркой?

А. Так как один видит внутренность помещения в происходящем, а другой – в отраженном свете. В происходящем свете картина будет менее яркая.

Б. Так как один видит внутренность помещения в происходящем, а другой – в отраженном свете. В отраженном свете картина будет менее яркая.

В. Это возможно только тогда, когда в комнате установлены зеркала. Яркость одинакова.

2. На какой позиции рис. 65 более правильно начерчен ход лучей?

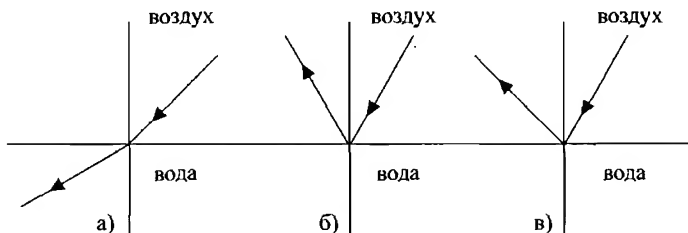


Рис. 65

А. «а».

Б. Только «б».

В. «б», «в».

3. Если рассматривать камень, лежащий на дне водоема в точке 1 под небольшим углом, то мы видим его в точке:

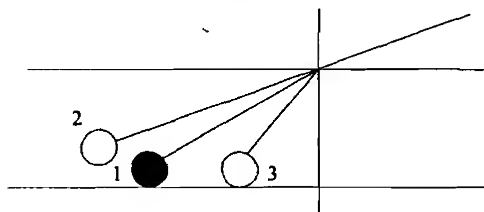


Рис. 66

А. 1.

Б. 2.

В. 3.

4. Как меняются кажущиеся размеры предмета в воде?

А. Увеличиваются.

Б. Уменьшаются.

В. Не изменяются.

5. Для нахождения предельного угла при падении луча на границу стекло – вода нужно использовать формулу:

А. $\sin\alpha_{np} = \frac{n_c}{n_b}$.

Б. $\sin\alpha_{np} = n_c \cdot n_b$.

В. $\sin\alpha_{np} = \frac{n_b}{n_c}$.

6. Как изменилось бы видимое расположение звезд на небе, если бы вдруг исчезла атмосфера Земли?

А. Сместилось бы от зенита.

Б. Сместилось бы к зениту.

В. Смещения не произошло бы.

(Ответы: 1. Б; 2. В; 3. Б; 4. А; 5. В; 6. А.)

IV. Изучение нового материала

1. Демонстрация опыта.

Опыт с оптической шайбой. (Только теперь наблюдаем переход света из оптически более плотной среды в менее плотную.)

2: Рассказ учителя.

На границе стекло – воздух часть пучка отразится в соответствии с законом отражения, а часть пройдет в воздух, изменив направление. При этом угол преломления больше угла падения. Увеличивая угол падения, угол преломления увеличивается быстрее, увеличива-

ется интенсивность луча отражения, а интенсивность угла преломления падает.

При дальнейшем увеличении угла угол преломления становится равным 90°. Свет идет вдоль границы раздела сред стекло – воздух.

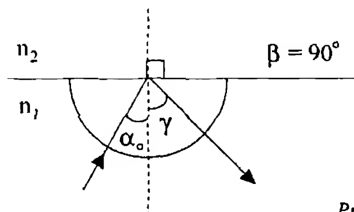


Рис. 67

$$\frac{\sin\alpha_0}{\sin 90^\circ}=\frac{n_2}{n_1}\Rightarrow\alpha_0=\arcsin\frac{n_2}{n_1}.$$

Для воздуха $\alpha_0=\arcsin\frac{1}{n}$, при $\alpha>\alpha_0$ свет отражается обратно в первую среду.

Наименьший угол падения α_0, при котором наступает полное внутреннее отражение, называется предельным углом полного отражения. Данное явление наблюдается при переходе света из оптически более плотной среды в оптически менее плотную, если световой пучок падает на границу раздела под углом, который больше предельного.

Полным внутренним отражением объясняется блеск капель росы на солнечном свете, светящиеся фонтаны, блеск бриллиантов, хрусталя. Они блестят, потому что падающий на них свет полностью отражается, не попадая внутрь пузырьков.

Данное явление используется в волоконной оптике для передачи света и изображения по пучкам прозрачных гибких волокон – световодов.

Он представляет собой тонкое волокно цилиндрической формы из кварцевого стекла с добавлением германия и бора. Толщина волокон от 100 мкм до 1 мкм.

За счет многократного полного отражения свет может быть направлен по любому прямому или изогнутому пути. Создаются волоконные линии связи протяженностью до сотен километров. Волоконный кабель тоньше телефонного и позволяет передавать больше сообщений. Жгуты из волокон используются в медицине для исследования полых внутренних органов: стенок желудка, пищевода, кишечника и даже кровеносных сосудов.

3. Анализ экспериментов.

Эксперимент 1

Медную монету заранее закоптить. Затем положить ее гербом вверх на дно сосуда с водой. И в таком виде показать учащимся. Она кажется серебряной.

Объяснение явления: Из-за копоти поверхность монеты покрыта слоем воздуха, на границе которого с водой происходит полное внутреннее отражение света, освещающего монету.

Эксперимент 2

Большую стеклянную бутыль с боковым тубусом установить на высоте 40 см над столом. В тубус вставить пробку, сквозь которую пропустить небольшую стеклянную трубку. Лучи света от проекционного фонаря собрать на отверстии тубуса. Бутыль наполнить водой, и пусть вода вытекает из сливной трубки. Если воду слегка замутить молоком, то вытекающая вода будет светиться.

Объяснение явления:

Лучи света, поступающего внутрь струи, испытывают полное внутреннее отражение и следуют вдоль струи. А частицы молока рассеивают свет во все стороны и делают струю видимой.

V. Закрепление материала

- Сделав чертеж, объясните сущность явления полного внутреннего отражения света?
- Что называют предельным углом полного внутреннего отражения света?
- Каково практическое применение полного внутреннего отражения света?
- Что такое световод?

VI. Подведение итогов урока

Домашнее задание

С помощью стеклянной трубки изогнуть луч света. Предложите свои проекты решения.

Урок 67. Решение задач

Цель: научить пользоваться теоретическими знаниями на практике.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение изученного

- Что называют отражением света?
- Что называют падающим лучом? Углом падения? Отраженным лучом? Углом отражения?
- Сформулируйте законы отражения.
- Что называют преломлением света?
- Сформулируйте и запишите законы преломления.
- Какой физический смысл относительного показателя преломления? Абсолютного показателя преломления?
- Какое отражение называют зеркальным? Диффузным?
- Что называют предельным углом полного внутреннего отражения?
- Каково практическое применение полного внутреннего отражения света?

III. Решение задач

1. На дне водоема глубиной $H = 1{,}2$ м находится точечный источник света. Найдите наибольшее расстояние S от источника до тех точек на поверхности, где лучи выходят из воды. Показатель преломления воды $n = 4/3$.

(*Ответ:* $S = \dfrac{n}{\sqrt{n^2 - 1}} \cdot H \approx 1{,}8$ м.)

2. Точечный источник света находится на дне сосуда под слоем жидкости толщиной $H = 0{,}9$ м. Показатель преломления жидкости $n = 1{,}25$. определите максимальное время T, за которое свет, выходящий в воздух, проходит слой жидкости. Скорость света в вакууме $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

(*Ответ:* $T = \dfrac{n^2}{\sqrt{n^2 - 1}} \cdot \dfrac{H}{C} = 6{,}25 \cdot 10^{-9}$ с.)

3. Поверхность озера глубиной $H = 1{,}3$ м покрыта тонким слоем льда со снегом, практически не пропускающим свет. Найдите площадь S светлого пятна на горизонтальном дне от полыньи в форме круга радиусом $R = 2$ м. Озеро освещается рассеянным светом. Показатель преломления воды $n = 4/3$.

(*Ответ:* $S = \pi \left(R + \dfrac{H}{\sqrt{n^2 - 1}} \right)^2 \approx 38$ м^2.)

4. Квадратный плот со стороной $a = 4$ м плавает в воде. Под центром плота находится точечный источник света. На какой максимальной глубине H следует поместить точечный источник, чтобы свет не выходил в воздух? Показатель преломления воды $n = 4/3$.

(*Ответ:* $H = \frac{a}{2}\sqrt{n^2 - 1} \approx 1,76$ м.)

5. На какой глубине H под водой находится стоящий на дне водолаз, если он видит отраженными от поверхности воды те части горизонтального дна, которые расположены от него на расстоянии $l = 15$ м и больше? Глаза водолаза находятся на расстоянии $h = 1,8$ м от дна. Показатель преломления воды $n = 4/3$.

(*Ответ:* $H = \frac{1}{2}\left(h + l\sqrt{n^2 - 1}\right) \approx 7,5$ м.)

6. Точечный источник света расположен на горизонтальном дне водоема глубиной $h = 0,6$ м. В некоторой точке поверхности, вышедшей на воздух, источник света перпендикулярен отраженному лучу. На каком расстояние l от источника отраженный луч достигнет дна? Показатель преломления воды $n = 4/3$.

(*Ответ:* $l = 2\frac{h}{n} = 0,9$ м.)

7. Под каким углом φ к горизонту видит заходящее Солнце человек, находящийся под водой? Показатель преломления воды $n = 4/3$.

(*Ответ:* $\varphi = \arccos\frac{1}{n} \approx 0,72$; $\varphi \approx 41°$.)

IV. Подведение итогов урока

Домашнее задание

Р – 1033.

Урок 68. Лабораторная работа по теме «Измерение показателя преломления стекла»

Оборудование: необходимые средства измерения.

Ход урока

В работе измеряется показатель преломления стеклянной пластины, имеющей форму трапеции. На одну из параллельных граней пластины наклонно к ней направляют узкий световой пучок. Проходя через пластину, этот пучок света испытывает двукратное преломление. Источником света служит электрическая лампочка, подключенная через ключ к какому-либо источнику тока. Световой пучок создается с помощью металлического экрана со щелью. При этом ширина пучка может меняться за счет изменения расстояния между экраном и лампочкой.

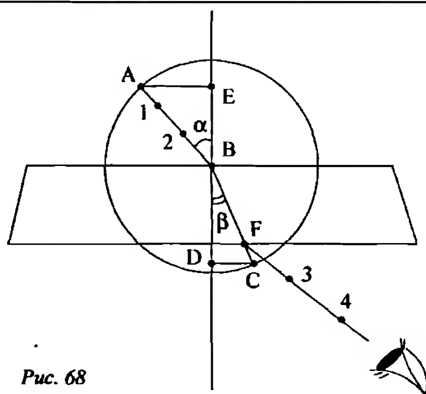


Рис. 68

Показатель преломления стекла относительно воздуха определяется по формуле:

$$n = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta},$$

где α – угол падения пучка света на грань пластины из воздуха в стекло; β – угол преломления светового пучка в стекле.

Для определения отношения, стоящего в правой части формулы, поступают следующим образом. Перед тем как направить на пластину световой пучок, ее располагают на столе на листе миллиметровой бумаги (или листе бумаги в клетку) так, чтобы одна из ее параллельных граней совпала с предварительно отмеченной линией на бумаге.

Эта линия укажет границу раздела сред воздух – стекло. Тонко отточенным карандашом проводят линию вдоль второй параллельной грани. Эта линия изображает границу раздела сред стекло – воздух. После этого, не перемещая пластины, на ее первую параллельную грань направляют узкий пучок под каким-либо углом к грани. Вдоль падающего на пластину пучка и вышедших из нее световых пучков тонко очиненным карандашом ставят точки 1, 2, 3 и 4. После этого лампочку выключают, пластину снимают и с помощью линейки прочерчивают входящий, выходящий и преломленный лучи.

Через точку *B* границы раздела сред воздух – стекло проводят перпендикуляр к границе, отмечают углы падения α и преломления β. Далее с помощью циркуля проводят окружность с центром в точке *B* и строят прямоугольные треугольники ABE и CBD.

Так как $\sin\alpha = \frac{AE}{AB}$, $\sin\beta = \frac{CD}{BC}$ и AB = BC,

то формула для определения показателя преломления стекла примет вид:

$$n_{пр} = \frac{AE}{DC} \qquad (1)$$

Длину отрезков AE и DC измеряют по миллиметровой бумаге или с помощью линейки. При этом в обоих случаях инструментальную погрешность можно считать равной 1 мм. Погрешность отсчета надо взять также равной 1 мм для учета неточности в расположении линейки относительно края светового пучка.

Максимальная абсолютная погрешность определяется по формуле:

$$\Delta n = n_{пр} \cdot \varepsilon .$$

(Здесь $n_{пр}$ – приближенное значение показателя преломления, определяемое по формуле 1.)

Окончательный результат измерения показателя преломления записывается так:

$$n = n_{пр} \pm \Delta n .$$

Подготовка к проведению работы

1. Подготовить бланк отчета с таблицей для записи результатов измерений и вычислений:

Измерено		Вычислено				
ΔE, мм	DC, мм	$n_{пр}$	ΔAE, мм	ΔDC, мм	ε, %	Δn

2. Подключить лампочку через выключатель к источнику тока. С помощью экрана со щелью получить тонкий световой пучок.

Проведение эксперимента, обработка результатов измерений

1. Измерить показатель преломления стекла относительно воздуха при каком-нибудь угле падения. Результат измерения записать с учетом вычисленных погрешностей.
2. Повторить то же при другом угле падения.
3. Сравнить результаты, полученные по формулам:

$$n_{1_{пр}} - \Delta n_1 < n_1 < n_{1_{пр}} + \Delta n_1 ,$$

$$n_{2_{пр}} - \Delta n_2 < n_2 < n_{2_{пр}} + \Delta n_2 .$$

4. Сделать вывод о зависимости (или независимости) показателя преломления от угла падения. (Метод сравнения результатов измерений изложен во введении к лабораторным работам в учебнике физики.)

Контрольный вопрос

Чтобы определить показатель преломления стекла, достаточно измерить транспортиром углы α и β и вычислить отношение их синусов. Какой из этих методов определения показателя преломления предпочтительнее: этот или использованный в работе?

Домашнее задание

п. 59–62.

Урок 69. Линзы. Построение в линзах. Формула линзы

Цель: дать знания о линзах, их физических свойствах и характеристиках.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Изучение нового материала

Явление преломления света лежит в основе действия линз и многих оптических приборов, служащих для управления световыми пучками и получения оптических изображений.

Линза – это оптическое прозрачное тело, ограниченное сферическими поверхностями. Существует два вида линз (см. рис. 69):

а) выпуклые;

б) вогнутые.

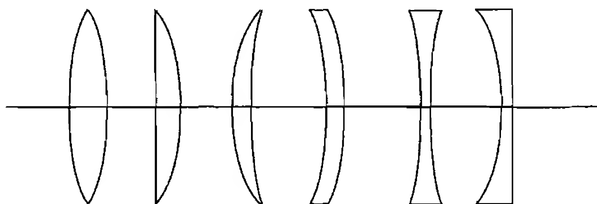


Рис. 69

Выпуклые линзы бывают: двояковыпуклыми, плосковыпуклыми, вогнуто выпуклыми.

Выгнутые линзы могут быть: двояковогнутыми, плосковогнутыми, выпукло вогнутыми.

Линзы, у которых середины толще чем края, называют собирающими, а у которых толще края – рассеивающими.

Эксперимент

Пучок света направляют на двояковыпуклую линзу. Наблюдаем

собирающее действие такой линзы: каждый луч, падающий на линзу после преломления ею отклоняется от своего первоначального направления, приближаясь к главной оптической оси.

Описанный опыт естественным образом подводит учащихся к понятиям главного фокуса и фокусного расстояния линзы.

Расстояние от оптического центра линзы до ее главного фокуса называют фокусным расстоянием линзы. Обозначают ее буквой F, как и сам фокус.

Далее выясняется ход световых лучей через рассеивающую линзу. Аналогичным образом рассматривается вопрос о действии и параметрах рассеивающей линзы. Основываясь на экспериментальных данных, можно сделать вывод: фокус рассеивающей линзы мнимый.

Вывод формулы тонкой линзы

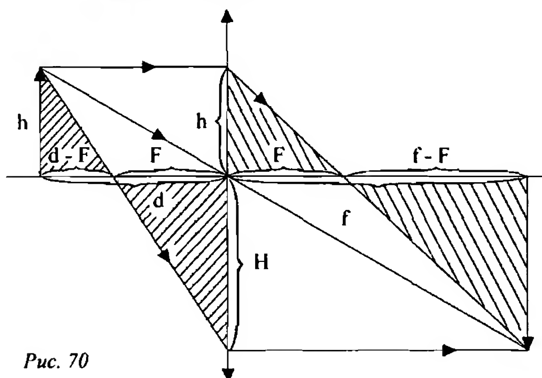


Рис. 70

Из подобия заштрихованных треугольников (рис. 70) следует:

$$\frac{h}{H}=\frac{d-F}{F} \quad \text{и} \quad \frac{h}{H}=\frac{F}{f-F},$$

$$\text{откуда} \quad \frac{d-F}{F}=\frac{F}{f-F},$$

$$df=dF+Ff, \quad df=F(d+f), \quad F=\frac{df}{d+f}$$

$$\text{или} \quad \frac{1}{F}=\frac{1}{f}+\frac{1}{d},$$

где α – расстояние предмета от линзы; f – расстояние от линзы до изображения; F – фокусное расстояние.

Оптическая сила линзы равна:

$$D = \frac{1}{f} + \frac{1}{d} = \frac{1}{F}.$$

При расчетах числовые значения действительных величин всегда подставляются со знаком «плюс», а мнимых – со знаком «минус».

Линейное увеличение

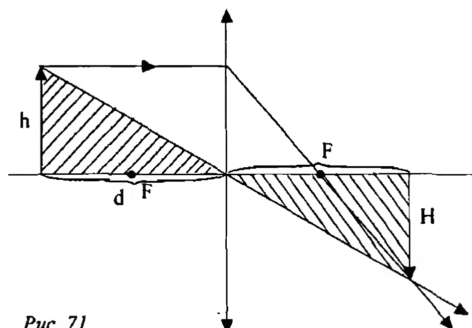


Рис. 71

Из подобия заштрихованных треугольников (рис. 71) следует:

$$\frac{H}{h} = \frac{f}{d}, \quad \Gamma = \frac{f}{d}.$$

III. Закрепление изученного

– Почему фокус рассеивающей линзы называется мнимым?
– Чем отличается действительное изображение точки от мнимого?
– По какому признаку можно узнать: собирающая эта линза или рассеивающая, если судить только по форме?

IV. Подведение итогов урока

Урок 70. Решение задач по теме «Собирающая линза»

Цель: научить пользоваться теоретическими знаниями на практике.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение изученного

– Назовите свойство выпуклой линзы. (*Собирать параллельные лучи в одну точку.*)
– С помощью линзы на экране получили изображение предмета.

Что произойдет с этим изображением, если ½ линзы закрыть непрозрачной ширмой? (*Уменьшится яркость изображения.*)

- Где получается изображение после преломления лучей собирающей линзы, если предмет находится между фокусом и линзой? (*Между фокусом и двойным фокусным расстоянием со стороны предмета.*)
- Постройте ход лучей в собирающей линзе.
- Перед собирающей линзой, оптическая сила которой равна 2,5 дптр, на расстоянии 30 см находится предмет высотой 20 м. Определите на каком расстоянии от линзы находится изображение. (*–1,2 м.*)

III. Решение задач

1. Точечный источник света находится на расстоянии $d = 15$ см от собирающей линзы и на расстоянии $h = 15$ см от ее главной оптической оси. Фокусное расстояние линзы $F = 10$ см. Найдите расстояние f и H от изображения до линзы и до главной оптической оси соответственно.

(*Ответ:* $f = \dfrac{d\mathrm{F}}{d - \mathrm{F}} = 30$, $H = \dfrac{h\mathrm{F}}{d - \mathrm{F}} = 10$ см.)

2. Предмет находится на расстоянии $d = 1{,}8$ м от собирающей линзы. Найдите фокусное расстояние F линзы, если изображение меньше предмета в $n = 5$ раз.

(*Ответ:* $\mathrm{F} = \dfrac{d}{n + 1} = 0{,}3$ м.)

3. Фокусное расстояние линзы $F = 5$ см. Точечный источник света находится на главной оптической оси линзы на расстоянии $d = 6$ см от линзы. Линзу разрезают по диаметру и половинки раздвигают симметрично в плоскости линзы по перпендикуляру к линии разреза на расстояние $l = 1$ см. Найдите расстояние S между изображениями точечного источника.

(*Ответ:* $S = \dfrac{l \cdot d}{d - \mathrm{F}} = 6$ см.)

4. Изображение миллиметрового деления шкалы, расположенной перед линзой на расстоянии $d = 12{,}5$ см, имеет на экране длину $H = 2{,}4$ см. Определите фокусное расстояние F линзы.

(*Ответ:* $\mathrm{F} = \dfrac{d}{\dfrac{h}{H} + 1} = 0{,}12$ м, здесь h = 1 мм.)

5. На каком расстоянии L находятся предмет и его изображение, создаваемое линзой с фокусным расстоянием $F = 0{,}6$ м, если действительное изображение в $\Gamma = 3$ раза больше предмета?

(*Ответ:* $L=\left(2+\Gamma+\frac{1}{\Gamma}\right)F=3{,}2$ м.)

6. Расстояние от предмета до экрана L = 3 м. Какой оптической силы D следует взять линзу и на каком расстоянии d от предмета ее поместить, чтобы получить изображение предмета, увеличенное в Γ = 5 раз?

(*Ответ:* $D=\left(2+\Gamma+\frac{1}{\Gamma}\right)\frac{1}{L}=2{,}4$ дптр, $d=\frac{L}{\Gamma+1}=0{,}5$ м.)

7. Линза с фокусным расстоянием F = 3 см создает перевернутое изображение предмета. Расстояние от предмета до линзы и от линзы до изображения отличается на a = 8 см. С каким увеличением Γ изображается предмет?

(*Ответ:* $\Gamma_1=1+\frac{a}{F-\frac{a}{2}+\sqrt{F^2+\frac{a^2}{4}}}=3$, если расстояние d от предмета до линзы меньше расстояния f от линзы до изображения; $\Gamma_2=\frac{1}{\Gamma_1}=\frac{1}{3}$, если d > A.)

8. Линза создает на экране изображение предмета с увеличением Γ = 4. Если предмет отодвинуть на l = 5 см от линзы, то увеличение уменьшится в n = 2 раза. Найдите фокусное расстояние F линзы.

(*Ответ:* $F=\frac{\Gamma}{n-1}\cdot l=0{,}2$ см.)

9. Линза с фокусным расстоянием F_1 = 12 см создает действительное изображение предмета с увеличением Γ_1 = 9. Вторая линза при том же расстоянии между предметом и линзой создает действительное изображение с увеличением Γ_2 = 3. Найдите фокусное расстояние F_2 второй линзы.

(*Ответ:* $F=\frac{d}{1+\frac{1}{\Gamma}}=7{,}5$ см.)

10. Предмет и его действительное изображение, полученное с помощью линзы, находится на расстоянии L = 180 мм друг от друга. Фокусное расстояние линзы F = 25 см. Определите расстояние f от изображения до линзы.

(*Ответ:* $f_{1,2}=\frac{L}{2}\left(1\pm\sqrt{1-4\frac{F}{L}}\right)$; $f_1=1{,}5$ м, $f_2=0{,}3$ м.)

IV. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 64

Урок 71. Решение задач по теме «Рассеивающая линза»

Цель: научить пользоваться теоретическими знаниями на практике.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Вопросы для повторения

– Свойство вогнутой линзы. (*Рассеивать параллельные лучи, проходящие через линзу.*)
– Постройте ход лучей в рассеивающей линзе.
– Где получится изображение после преломления лучей в двояковогнутой линзе, если предмет находится между фокусом и линзой? (*Между предметом и линзой, если смотреть со стороны предмета на линзу.*)
– Параллельные лучи падают на вогнутую поверхность линзы и … (*преломляясь становятся расходящимися.*)
– С помощью линзы на экране получили изображение предмета. Что произойдет с этим изображением, если 2/3 линзы закрыть непрозрачной ширмой? (*Уменьшится яркость изображения; может увеличиться глубина резкости.*)

III. Решение задач

1. Изображение предмета, помещенного перед линзой на расстоянии $d = 50$ см, мнимое и уменьшенное в $n = 3$ раза. Определите фокусное расстояние F линзы.

(*Ответ:* $F = \dfrac{d}{1-n} = -25$ см.)

2. Фокусное расстояние линзы $F = -20$ см. Предмет удален от линзы на расстояние $d = 10$ см. Определите расстояние f от изображения до линзы.

(*Ответ:* $f = \dfrac{dF}{d+F} \approx -6{,}7$ см.)

3. Линза создает прямое изображение предмета с увеличением $Г = 0{,}25$. Предмет расположен на расстоянии $d = 40$ см от линзы. Определите оптическую силу D линзы.

(*Ответ:* $D = \frac{Г - 1}{Г \cdot d} = -7,5$ дптр.)

4. Точечный источник света находится на расстоянии d = 8 см от рассеивающей линзы и на расстоянии h = 6 см от ее главной оптической оси. Фокусное расстояние линзы F = –8 см. Найдите расстояние f от источника до изображения.

(*Ответ:* $S = \frac{d\sqrt{h^2 + d^2}}{|F| + d} = 5$ см.)

5. Точечный источник света находится на расстоянии d = 3 см от рассеивающей линзы и на расстоянии h = 1 см от ее главной оптической оси. Фокусное расстояние линзы F = – 9 см. Найдите расстояние f от изображения до линзы и расстояние H от изображения до главной оптической оси.

(*Ответ:* $f = \frac{dF}{d - F} = -2,25$ см; $H = h\frac{|f|}{d} = 0,75$ см.)

6. Предмет находится на расстоянии d = 10 см от собирающей линзы с фокусным расстоянием F = 20 см. Во сколько раз изменится размер изображения, если на место собирающей линзы поставить рассеивающую линзу с тем же по величине фокусным расстоянием?

(*Ответ:* $\frac{H_2}{H_1} = \frac{F - d}{F + d} = \frac{1}{3}$.)

7. Луч света падает на поверхность стеклянного шара параллельно некоторой прямой 00_1, проходящей через центр шара. Угол падения луча на поверхность шара α = arcsin (24/25). Преломленный луч проходит через точку пересечения прямой 00_1 с поверхностью шара. Найдите показатель преломления n стекла.

(*Ответ:* $n = 2\cos\frac{\alpha}{2} \approx 1,6$.)

8. На тонкостенную прозрачную сферическую колбу, наполненную жидкостью, падает узкий цилиндрический пучок света так, что ось пучка проходит через центр колбы. В жидкости диаметр пучка монотонно убывает в два раза. Найдите показатель преломления n жидкости.

(*Ответ:* $n = \frac{4}{3}$.)

IV. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 64, 65.

Урок 72. Лабораторная работа по теме «Определение фокусного расстояния линзы

Задание: определение фокусного расстояния и оптической силы собирающей линзы.

Оборудование: комплект лабораторный по оптике, линейка.

Ход урока

Содержание и метод выполнения работы

Получив с помощью линзы действительное изображение светящегося предмета на экране и измерив расстояние f от линзы до объектива и расстояние d' до изображения, можно вычислить фокусное расстояние по формуле линзы:

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{d}+\frac{1}{d'}, \text{ откуда}$$

$$f=\frac{d\cdot d'}{d+d'};\ \Phi=\frac{1}{f}.$$

Порядок выполнения работы

1. Для определения фокусного расстояния собирающей линзы установите на столе источник света из лабораторного комплекта по оптике, вставьте в окно прибора диапозитивную рампу с отверстием в виде стрелки. При включении источника света в сеть переменного тока с напряжением 42 В стрелка в окне прибора должна светиться.

2. Поставьте перед окном источника света линзу № 1, за линзой белый экран. Перемещая линзу и экран, найдите такое их положение относительно окна в источнике света, при котором на экране получается четкое изображение стрелки.

3. Измерьте расстояние от окна прибора до линзы и от линзы до экрана. Вычислите фокусное расстояние линзы.

4. Измените расстояние от линзы до источника света. Передвижением экрана вновь добейтесь получения резкого изображения стрелки на экране. Измерьте расстояния от линзы до экрана и от линзы до источника света, вычислите фокусное расстояние линзы.

5. Поверните линзу к окну и получите на экране изображение далеких предметов за окном. Измерьте расстояние от линзы до экрана и сравните его с полученными ранее значениями фокусного расстояния линзы.

6. Оцените границы погрешности в определении фокусного расстояния линзы и сделайте вывод о том, согласуются ли между собой результаты трех опытов по определению фокусного расстояния линзы.

7. Вычислите оптическую силу линзы.

Дополнительное задание

Определите фокусное расстояние собирающей линзы № 2 и фокусное расстояние оптической системы из двух линз № 1 и № 2, соединенных вместе. Сделайте вывод об оптической силе системы, полученной соединением тонких линз.

Урок 73. Глаз. Лупа

Цель: рассмотреть строение глаза и приборы его вооружающие.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Решение экспериментальной задачи

Задание: определить показатель преломления.

Оборудование: внутренний сосуд калориметра, банка с водой, экран из небольшого листа фанеры, штатив, линейка миллиметровая, отрезок миллиметровой шкалы от линейки длиной около 40 мм с заостренным концом.

Рекомендации: Установку (см. рис. 72) собирают так, чтобы за краем экрана видеть только нулевое деление отрезка шкалы, находящейся на дне калориметрического стакана. Это соответствует ходу луча при отсутствии воды в стакане. После того как нальют воду до края сосуда, видно деление шкалы.

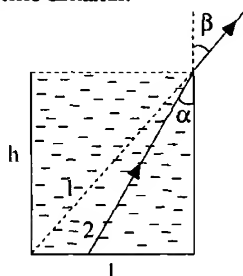


Рис. 72

$$n=\frac{\sin\beta}{\sin\alpha};\quad \sin\beta=\frac{d}{\sqrt{d^2+h^2}},$$

где d – диаметр алюминиевого стаканчика.

$\sin\alpha=\dfrac{d-l}{\sqrt{h^2+(d-l)^2}}$, тогда окончательно имеем:

$$n = \frac{d\sqrt{h^2 + (d-l)^2}}{\sqrt{d^2 + h^2}(d-l)}.$$

III. Изучение нового материала

Глаз – это 90 % информации.

Глаз состоит из склеры (защитная оболочка из эластичной ткани); роговицы, камеры (полость, заполненная прозрачной жидкостью), сосудистой оболочки, радужной оболочки, отверстия (зрачок диаметром от 2 до 8 мм), хрусталика (n = 1,44), мышц, изменяющих оптические свойства глаза, прозрачной студенистой массы (глазное дно), сетчатки (7 млн колбочек, 130 млн палочек, которые реагируют на свет разной частоты неодинаково), разветвлений зрительного нерва.

Основные свойства глаза

Аккомодация – свойство глаза, обеспечивающее четное восприятие разно удаленных предметов. Изменяется главный фокус глаза от 16 до 13 мм. Оптическая сила глаза от 60 дптр до 75 дптр. Предельный угол зрения $\varphi_0 = 1'$. С приближением предмета увеличивается угол зрения φ_0, под которым мы видим две близкие точки предмета.

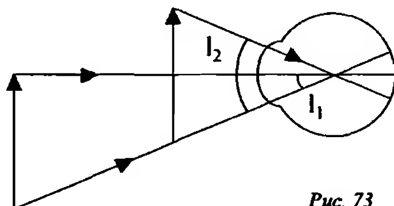


Рис. 73

Адаптация – приспособленность к различным условиям освещенности: $d_{зр}$ от 2 мм до 8 мм, $S_{зр}$ изменяется в 16 раз.

Поле зрения. По оси 0X 150°, по оси 0Y – до 760 мм. Самая большая чувствительность λ = 555 нм (зеленый цвет).

Острота зрения – свойство глаза раздельно различать две близкие точки.

Расстояние наилучшего зрения d_0 = 250 мм. Дальние предметы глаз видит без напряжения.

Недостатки глаза

Глаз не может создать резкое изображение на сетчатке.

Оптические приборы

Лупа

Увеличить угол зрения можно используя лупу.

Микроскоп:

$$\Gamma = \frac{|A_2B_2|}{|A_1B_1|} = \frac{0B_2}{0B_1}.$$

Так как $0B_2 = d_0$, а $0B_1 \approx F$, то $\Gamma = \frac{d_0}{F}$.

Дополнительный материал

Аккомодация происходит непроизвольно. Как только глаз переводится с одного предмета на другой, нарушается резкость изображения, о чем в мозг приходит сигнал. Обратный сигнал из мозга к цилиарной мышце вызывает ее сокращение или растяжение до тех пор, пока не получится резкое изображение. Точка, которую глаз видит при расслабленной цилиарной мышце, называется дальней точкой, видимой при максимальном напряжении ближней точкой.

При близорукости дальняя точка лежит на конечном расстоянии. Иногда при сильной близорукости – очень близко от глаза. Поэтому близорукие видят лучше приблизив предметы. Коррекция близорукости производится с помощью очков с вогнутыми линзами.

Дальнозоркость приводит к удалению ближней точки от глаза. Дальнозоркость обычно возникает в старческом возрасте, когда хрусталик теряет упругость. Для коррекции применяются очки с выпуклыми линзами.

Подбор очков:

$$D_{\text{оч.Гл}} = D_{\text{оч}} + D_{\text{Гл}}; \quad D_{\text{оч}} = D_{\text{ох.Гл}} - D_{\text{Рл}};$$

$$D_{\text{оч}} = \frac{1}{d_0} + \frac{1}{f} - \frac{1}{d_{\text{Гл}}} - \frac{1}{f},$$

где f – глубина глаза;

$d_{\text{Гл}}$ – расстояние, на которое видит глаз без очков;

$d_0 = 25$ см – расстояние наилучшего зрения глаза.

$$D_{\text{оч}} = \frac{1}{d_0} - \frac{1}{d_{\text{Гл}}}.$$

Близорукость и дальнозоркость могут быть исправлены с помощью хирургии по изменению формы роговицы или хрусталика.

Глаз как оптическая система

Органом зрения человека являются глаза, которые во многих отношениях представляют собой весьма совершенную оптическую систему.

В целом глаз человека (см. рис. 74) – это шарообразное тело диаметром около 2,5 см, которое называют глазным яблоком. Непрозрачную и прочную

внешнюю оболочку глаза называют склерой, а ее прозрачную и более выпуклую переднюю часть – роговицей. С внутренней стороны склера покрыта сосудистой оболочкой, состоящей из кровеносных сосудов, питающих глаз. Против роговицы сосудистая оболочка переходит в радужную оболочку, неодинаково окрашенную у различных людей, которая отделена от роговицы камерой с прозрачной водянистой массой. В радужной оболочке имеется круглое отверстие, называемое зрачком, диаметр которого может изменяться. Таким образом, радужная оболочка играет роль диафрагмы, регулирующей доступ света в глаз. При ярком освещении зрачок уменьшается, а при слабом освещении – увеличивается. Внутри глазного яблока за радужной оболочкой расположен хрусталик, который представляет собой двояковыпуклую линзу из прозрачного вещества с показателем преломления около 1,4. Хрусталик окаймляет кольцевая мышца, которая может изменять кривизну его поверхностей, а значит, и его оптическую силу.

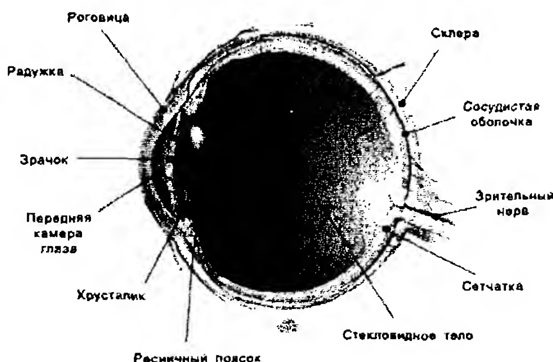


Рис. 74. Строение человеческого глаза

Сосудистая оболочка с внутренней стороны глаза покрыта разветвлениями светочувствительного нерва, особенно густыми напротив зрачка. Эти разветвления образуют сетчатую оболочку, на которой получается действительное изображение предметов, создаваемое оптической системой глаза. Пространство между сетчаткой и хрусталиком заполнено прозрачным стекловидным телом, имеющим студенистое строение. Изображение предметов на сетчатке глаза получается перевернутое. Однако деятельность мозга, получающего сигналы от светочувствительного нерва, позволяет нам видеть все предметы в натуральных положениях.

Когда кольцевая мышца глаза расслаблена, то изображение далеких предметов получается на сетчатке. Вообще устройство глаза таково, что человек может видеть без напряжения предметы, расположенные не ближе 6 метров от глаза. Изображение более близких предметов в этом случае получается за сетчаткой глаза. Для получения отчетливого изображения такого предмета кольцевая мышца сжимает хрусталик всё сильнее до тех пор, пока изображение предмета не окажется на сетчатке, а затем удерживает хрусталик в сжатом состоянии.

Таким образом, «наводка на фокус» глаза человека осуществляется изменением оптической силы хрусталика с помощью кольцевой мышцы. Способность оптической системы глаза создавать отчетливые изображения предметов, находящих на различных расстояниях от него, называют аккомодацией (от латин. «accommodatio» – приспособление). При рассматривании очень далеких предметов в глаз попадают параллельные лучи. В этом случае говорят, что глаз аккомодирован на бесконечность.

Аккомодация глаза не бесконечна. С помощью кольцевой мышцы оптическая сила глаза может увеличиваться не больше чем на 12 диоптрий. При долгом рассматривании близких предметов глаз устает, а кольцевая мышца начинает расслабляться и изображение предмета расплывается.

Глаза человека позволяют хорошо видеть предметы не только при дневном освещении. Способность глаза приспосабливаться к различной степени раздражения окончаний светочувствительного нерва на сетчатке глаза, т. е. к различной степени яркости наблюдаемых объектов, называют адаптацией.

Сведение зрительных осей глаз на определенной точке называется конвергенцией. Когда предметы расположены на значительном расстоянии от человека, то при переводе взгляда с одного предмета на другой между осями глаз практически не изменяется, и человек теряет способность правильно определять положение предмета. Когда предметы находятся очень далеко, то оси глаз располагаются параллельно, и человек не может даже определить движется или нет тот предмет, на который он смотрит. Некоторую роль в определении положения тел играет и усилие кольцевой мышцы, которая сжимает хрусталик при рассматривании предметов, расположенных недалеко от человека.

Оптический измерительный прибор

Оптический измерительный прибор – средство измерения, в котором визирование (совмещение границ контролируемого предмета с внзирной линией, перекрестием и т. п.) или определение размера осуществляется с помощью устройства с оптическим принципом действня. Различают три группы оптических измерительных приборов: приборы с оптическим принципом визирования и механическим способом отчета перемещения; приборы с оптическим способом визирования и отчета перемещения; приборы, имеющие механический контакт с измерительным прибором, с оптическим способом определения перемещения точек контакта.

Из приборов первой группы распространение получили проекторы для измерения и контроля деталей, имеющих сложный контур, небольшие размеры.

Наиболее распространенный прибор второй группы – универсальный измерительный микроскоп, в котором измеряемая деталь перемещается на продольной каретке, а головной микроскоп – на поперечной.

Приборы третьей группы применяют для сравнения измеряемых линейных величин с мерками или шкалами. Их объединяют обычно под общим *названием компараторы*. К этой группе приборов относятся оптиметр (оптикатор, измерительная машина, контактный интерферометр, оптический дальномер и др.).

Оптические измерительные приборы также широко распространены в геодезии (нивелир, теодолит и др.).

Теодолит – геодезический инструмент для определения направлений и измерения горизонтальных и вертикальных углов при геодезических работах, топографической и маркшейдерских съемках, в строительстве и т. п.

Нивелир – геодезический инструмент для измерения превышений точек земной поверхности – нивелирования, а также для задания горизонтальных направлений при монтажных и т. п. работах.

В навигации широко распространён секстант – угломерный зеркально-отражательный инструмент для измерения высот небесных светил над горизонтом или углов между видимыми предметами с целью определения координат места наблюдателя. Важнейшая особенность секстанта – возможность совмещения в поле зрения наблюдателя одновременно двух предметов, между которыми измеряется угол, что позволяет пользоваться секстантом на самолёте и на корабле без заметного снижения точности даже во время качки.

Перспективным направлением в разработке новых типов оптических измерительных приборов является оснащение их электронными отсчитывающими устройствами, позволяющими упростить отсчет показаний и визирования, и т. п.

Проблемы хорошего зрения

Представьте себе, что вы стоите на углу оживленной улице какого-нибудь американского города и что вдруг все недостатки зрения превращаются в недостатки ног; тогда более 50 % пешеходов начнут хромать или будут неспособны ходить без костылей, или вынуждены будут прибегнуть к коляскам. Если вместо улицы взять стадион колледжа, то число пострадавших будет составлять около 40 %, а на перчаточной фабрике пострадавшими окажутся 8 человек из 10. Современная цивилизация облегчила значительную часть нашего каждодневного труда и освободила нас от многих жизненных забот, но во много раз увеличила нагрузку на глаза.

Исследования показывают, что более 95 % младенцев рождается с нормальным зрением и без дефектов глаз. Но, как видно из таблицы 1, очень малый процент их достигает пожилого возраста со зрением, которое можно было бы в какой-нибудь мере считать нормальным. На зрение людей возлагается тяжелая нагрузка. В результате этого Америка быстро превращается в страну «очкариков». Несоответствие человеческого зрения в целом – один из самых серьезных дефектов современной цивилизации.

Часть перегрузки глаз объясняется тем, что человек пользуется глазами при условиях совершенно иных, чем те, при которых глаз первоначально развивался и для которых он приспосабливался. Первобытный человек пользовался своими глазами для того, чтобы смотреть вдаль при ярком солнечном свете – для охоты, рыбной ловли и для сражений. Когда солнце заходило, обязанности глаз кончались. Конечно, первобытный человек не работал целый день с предметами, расположенными вблизи глаз, и не ходил потом в панорамное кино, не смотрел телевизионные передачи в течение нескольких часов и не читал книгу далеко за полночь.

Поскольку многие недостатки глаза, по-видимому, создаются нагрузкой на них и условиями, при которых глаза выполняют работу, положение может быть значительно улучшено. Однако это требует научного подхода со стороны различных групп людей и каждого человека в отдельности. Мы, со своей стороны, должны узнать, как устроен глаз, каковы его функции, какие бывают дефекты и какие рабочие условия вызывают перегрузку. Прежде всего, начнем с изучения глаза.

Таблица 1

Приближенный процент нормального зрения среди лиц разного возраста*

Возрастная группа	Процент лиц с недостатками зрения
Новорожденные	0,5
Учащиеся средней школы	20
Учащиеся колледжа	40
40 лет	60
95 лет	95

Глаз как живая камера Обскура

Часто глаз называют живой камерой Обскурой, но как большинство аналогий и эта аналогия верна лишь частично. Глаз представляет собой бесконечно более тонкий и сложный прибор, чем самый лучший фотоаппарат, хотя в принципе они одинаковы. В фотоаппарате также имеется простая собирательная линза или система линз, действующая подобно собирательному хрусталику глаза. Чувствительная пленка в фотоаппарате соответствует чувствительности к свету сетчатой оболочки на задней стороне глаза; та и другая получают перевернутые, действительные, уменьшенные изображения. Диафрагма регулирует количество света, допускаемого в фотоаппарат; радужная оболочка регулирует количество света, входящего в глаз. В темноте зрачок или отверстие радужной оболочки может иметь диаметр почти 1 см, а на ярком свете он имеет размер булавочной головки.

Урок 74. Лабораторная работа по теме «Изучение моделей оптических приборов»

Задание: рассчитайте и испытайте модели фотоаппарата и проекционного аппарата.

Оборудование: комплект лабораторный по оптике, линейка, линзы собирающие № 1, 2.

---

* Данные взяты из книги М. Лекиша (Luckiesh M. Light, Vision and Seeing, N.-Y., 1944).

Ход урока

Содержание и метод выполнения работы

При расположении предмета на расстоянии *d*, больше двойного фокусного расстояния 2f линзы (d > 2f), изображение получается уменьшенное, действительное, перевернутое. Эта схема обычно используется при фотографировании.

При расположении предмета на расстоянии *d*, большем фокусного расстояния *f* линзы, но меньшем ее двойного фокусного расстояния (f < d < 2d), изображение получается увеличенное, действительное, перевернутое. Эта схема используется в проекционных аппаратах разных типов. Увеличение β в обоих случаях равно:

$$\beta = \frac{A'B'}{AB} = \frac{d'}{d},$$

где $A'B'$ и AB – размеры изображения и предмета, d' и d – расстояние от линзы до изображения и предмета.

Порядок выполнения работы

1. Установите на столе источники света из комплекта лабораторного оборудования по оптике, вставьте в окно прибора диапозитивную рамку со стрелкой. Включите прибор в сеть переменного тока с напряжением 42 В.

2. Для испытания модели фотоаппарата по известному значению фокусного расстояния линзы № 1 рассчитайте расстояния, на которых должна находиться линза от предмета и от экрана, чтобы получилось изображение, уменьшенное в 3 раза. Установите на рассчитанных расстояниях линзу и экран. Измерьте размеры стрелки в окне прибора и ее изображения на экране. Определите полученное увеличение и сравните его с расчетным значением.

3. Для испытания модели проекционного аппарата рассчитайте расстояние, на котором должна находиться линза от предмета для получения на экране изображения, увеличенного в 2 раза.

Установите линзу на рассчитанном расстоянии от окна прибора и получите увеличенное изображение стрелки на экране. Измерьте размеры изображения стрелки на экране и вычислите увеличение. Сравните его с расчетным значением.

Дополнительные задания

1. Рассчитайте расстояние, на котором должны быть установлены линзы № 1 и № 2 для использования их в качестве объектива и окуляра микроскопа. Соберите модель микроскопа и рассмотрите слайд через эту модель. Нарисуйте схему хода лучей в микроскопе.

2. Рассчитайте расстояния, на которых должны быть расположены линзы № 1 и № 2 для использования их в качестве объектива и окуляра телескопа. Вычислите увеличение телескопа. Проверьте правильность расчета экспериментально.

Урок 75. Решение задач по теме: «Оптика»

Цели: развитие навыков самостоятельной работы; отработка методов решения задач.

Ход урока

Задачи на «3» балла

1. Рисунок на диапозитиве имеет высоту 2 см, а на экране 80 см. Определить оптическую силу объектива, если расстояние от объектива до дна позитива 20,5 см. (*Ответ*: 5 дптр.)

2. Луч света переходит из глицерина в воздух. Каков угол преломления луча, если он падает под углом 22°? Показатель преломления глицерина – 1,47. (*Ответ*: 33°.)

3. Оптическая сила линзы равна 2 дптр. Предмет высотой 1,2 м помещен на расстоянии 60 см от линзы. На каком расстоянии от линзы и какой высоте получится изображение этого предмета? (*Ответ*: 3 м; 6 м.)

4. Луч света переходит из воды в стекло с показателем преломления 1,7. Определить угол падения луча, если угол преломления равен 28°. Показатель преломления воды равен 1,33. (*Ответ*: 37°.)

Задачи на «4» балла

1. Предмет расположен на расстоянии 40 см от линзы с оптической силой 2 дптр. Как изменится расстояние до изображения предмета, если последний приблизить к линзе на 15 см? (*Ответ*: сместится на 1,5 м ближе к линзе.)

2. Монета лежит на глубине 2 м. Будем смотреть на нее сверху по вертикали. На какой глубине мы увидим монету? Показатель преломления воды – 1,33. Для малых углов также считать равным синусу. (*Ответ*: 1,5 м.)

3. Предмет высотой 16 см находится на расстоянии 80 см от рассеивающей линзы с оптической силой – 2,5 дптр. Во сколько раз изменится высота изображения, если предмет подвинуть к линзе на 40 см? (*Ответ*: в 1,5 раза.)

4. Луч света падает на стеклянную плоскопараллельную пластинку с показателем преломления 1,5 под углом 60°. Какова толщина пластинки, если при выходе из нее луч сместился на 1 см? (*Ответ*: 2 м.)

Задачи на «5» баллов

1. От предмета высотой 3 см получили с помощью линзы действительное изображение высотой 18 см. Когда предмет передвинули на 6 см, то получили мнимое изображение высотой 9 см. Определить фокусное расстояние и оптическую силу линзы. (*Ответ*: 0,12 м.; 8,33 дптр.)

2. Водолаз высотой 180 см стоит на дне озера глубиной 5 м. Вычислить минимальное расстояние от точки, где стоит водолаз, до тех точек дна, которые он может увидеть в результате полного внутреннего отражения. (*Ответ*: 9,43 м.)

3. Расстояние от предмета до линзы и от линзы до действительного изображения предмета одинаковы и равны 60 см. Во сколько раз увеличится изображение, если предмет поместить на 20 см ближе к линзе? (*Ответ*: в 3 раза.)

4. На дне сосуда, наполненного водой до высоты 40 см, находится точечный источник света. На поверхности воды плавает круглый диск, центр которого находится над источником. При каком минимальном радиусе диска лучи от источника не будут выходить из воды? Показатель преломления воды равен 1,3. (*Ответ*: 0,48 м.)

Задачи повышенной трудности

1. Собирающая линза дает изображение предмета, увеличенное в 5 раз. Экран придвинули к предмету на 50 см, затем переместили линзу так, что предмет на экране получился в натуральную величину. Найти оптическую силу линзы и первоначальное расстояние между предметом и экраном. (*Ответ*: 6,4 дптр; 1,125 м.)

2. С помощью собирающей линзы на экране получено уменьшенное изображение. Размер предмета равен 6 см, размер изображения – 4 см. Оставляя экран и предмет неподвижными, линзу перемещают в сторону предмета. Определить величину второго четкого изображения. (*Ответ*: 9 см.)

Домашнее задание

п. 60–65.

Урок 76. Лабораторная работа по теме «Определение разрешающей способности глаза»

Задание: наблюдая две близко расположенные точки на белом листе с разных расстояний, определите разрешающую способность своего глаза.

Оборудование: игла; лист миллиметровой бумаги; лист белой бумаги; рулетка.

Ход урока

Содержание и метод выполнения работы

Разрешающая способность глаза как оптической системы зависит от диаметра зрачка. Если перед глазом расположен непрозрачный экран с отверстием, диаметр которого меньше диаметра зрачка, то разрешающая способность глаза уменьшается вследствие дифракции света на отверстии.

Для проведения исследования необходимо подготовить объект наблюдения и ряд отверстий различного диаметра в непрозрачном экране. Для наблюдения можно использовать лист бумаги с двумя черными точками на расстоянии 1 мм одна от другой. В качестве экрана можно взять полосу миллиметровой бумаги, в которой иглой прокалываются отверстия диаметром 0,3; 0,5; 0,1; 1,5 и 2,0 мм.

Выполнять измерения удобно вдвоем. Один из экспериментаторов наблюдает через отверстие в экране черные точки, а второй измеряет максимальное расстояние от глаза наблюдателя до этого листа, при котором через данное отверстие две точки еще видны раздельно.

Порядок выполнения работы

1. Установите перед правым глазом экран из миллиметровой бумаги и наблюдайте через отверстие диаметром 0,3 мм в экране две точки на листе белой бумаги, находящиеся на расстоянии 1 мм друг от друга. Постепенно удаляясь от листа бумаги, определите максимальное расстояние, на котором две точки еще не сливаются в одну, а видны раздельно.

2. Такие же наблюдения выполните, наблюдая эти же точки через отверстия диаметром 0,5; 0,1; 1,5; 2,0 мм. Результаты измерений занесите в отчетную таблицу.

3. Принимая расстояние l между точками, равное 1 мм, за длину дуги – окружность, а расстояние R от глаза до листа бумаги – за радиус окружности, вычислите минимальное угловое расстояние между точками при наблюдении через отверстия диаметром 0,3; 0,5; 1,0; 1,5 и 2,0 мм по формуле:

$$\varphi \approx \frac{l \cdot 360^\circ}{2\pi R} = \frac{l \cdot 360 \cdot 60'}{2\pi R} = \frac{3438' \cdot l}{R}.$$

Постройте график зависимости разрешающей способности глаза φ от диаметра d отверстия в экране.

4. Установите значения угла, при котором практически не меняется разрешающая способность при дальнейшем изменении диаметра отверстия в экране. Оцените линейные размеры светочувствительных элементов глаза – колбочек. В расчетах можно принять, что расстояние от роговицы до сетчатки глаза равно 18 мм, и считать, что два точечных источника света регистрируются глазом как раздельные, если расстояние между их изображениями превышает удвоенный размер колбочки.

Домашнее задание

п. 60–65.

Урок 77. Контрольная работа по теме: «Оптика»

Цель: выявить знания учащихся по теме «Оптика».

Ход урока

Вариант I

1. Предмет высотой 60 см помещен на расстоянии 60 см от собирающей линзы с фокусным расстоянием 12 см. Определите, на каком расстоянии от линзы получилось изображение и размер полученного изображения. (*Ответ*: 15 см; 15 см.

2. Под каким углом следует направить луч на поверхность стекла, показатель преломления которого 1,54, чтобы угол преломления получился равным 30°? (*Ответ*: 51°.)

3. В дно водоема глубиной 2 м вбита свая, выступающая на 0,5 м из воды. Найти длину тени от сваи на дне водоема при угле падения лучей 30°. Показатель преломления воды 1,33. (*Ответ*: 1, 036 м.

4. Расстояние от предмета до линзы и от линзы до изображения одинаковы и равны 0,5 м. Во сколько раз увеличится изображение, если сместить предмет на расстояние 20 см по направлению к линзе? (*Ответ*: в 5 раз.)

5. Преломляющий угол стеклянной призмы 60°. Под каким углом лучи должны падать на призму, чтобы выходить из нее, скользя вдоль поверхности противоположной грани? Показатель преломления стекла 1,6. (*Ответ*: 35°.)

6. Высота предмета равна 5 см. Линза дает на экране изображение высотой 15 см. Предмет передвинули на 1,5 см от линзы и, передвинув экран на некоторое расстояние, снова получили изображение высотой 10 см. Найти фокусное расстояние линзы. (*Ответ*: 9 см.)

Задача повышенной сложности

1. Предмет, расположенный перед собирающей линзой, дает на экране изображение высотой 96 мм. При перемещении линзы получают второе чёткое изображение предмета на экране высотой 6 мм. Найти высоту предмета. (*Ответ*: 24 мм.)

Вариант II

1. Луч света переходит из стекла в воду. Угол падения 45°. Чему равен угол преломления? Показатель преломления стекла 1,6; воды – 1,3. (*Ответ*: 61°.)

2. Перед собирающей линзой с фокусным расстоянием 10 см помещен предмет. На каком расстоянии надо поставить предмет, чтобы его действительное изображение было в 4 раза больше самого предмета. (*Ответ*: 12,5 см.)

3. Каково смещение луча плоской стеклянной пластинкой толщиной 3 см, если луч падает на нее под углом 70°? Показатель преломления стекла 1,5. (*Ответ*: 2 см.)

4. Собирающая линза дает на экране четкое изображение предмета, которое в 2 раза больше предмета. Расстояние от предмета до линзы на 6 см превышает ее фокусное расстояние. Найти расстояние от линзы до экрана. (*Ответ*: 36 см.)

5. На стеклянную призму ABC (см. рис.75) с преломляющим углом 30° падает луч света, который внутри призмы идет параллельно BC. Определить угол смещения луча, если AB = AC, а показатель преломления стекла 1,6. (*Ответ*: 18°.)

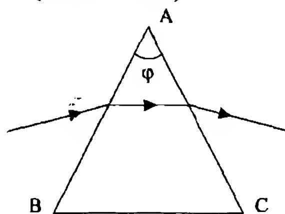


Рис. 75

6. Линза дает действительное изображение предмета с увеличением $Г = 3$. Каким будет увеличение, если на место первой линзы поставить вторую с оптической силой вдвое большей? (*Ответ*: 0,6.)

Задача повышенной сложности

1. Светящаяся точка находится на главной оптической оси линзы (главное фокусное расстояние которой равно 3 см) на расстоянии 4 см от ее оптического центра. На расстоянии 3 см от первой линзы находится вторая такой же оптической силы. Оптические оси обеих

линз совпадают. Где получится изображение светящейся точки? Построить ход лучей. (*Ответ*: 2, 25 см.)

Урок 78. Дисперсия света

Цель: объяснить явление дисперсии света.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Изучение нового материала

1. Рассказ учителя.

Вопрос о причине различной окраски тел естественно занимал ум человека. Вплоть до 1666 г. в этом вопросе была полная неопределенность. Считалось, что цвет есть свойство самого тела. С незапамятных времен наблюдалось разделение цвета радуги, и даже было известно, что образование радуги связано с освещенностью дождевых капель.

Так, Декарт наблюдал искусственную радугу на водяной пыли фонтанов и производил опыты по получению радуги со стеклянными шарами, наполненными водой. Декарт мог объяснить форму и условные размеры радуги на небосклоне, но причины цветов радуги ему остались неясными.

Ньютон обратился к исследованию цветов, наблюдаемых при преломлении света, в связи с усовершенствованием телескопов. Ньютон хотел получить линзы хорошего качества, он обратил внимание на наличие окрашенных краев. Исследуя окрашенные при преломлении края, Ньютон сделал свои открытия в области оптики.

2. Эксперимент.

Демонстрация дисперсии света.

3. Продолжение изучения материала.

Ньютон направил на призму световой пучок малого поперечного сечения. Падая на стеклянную призму, он преломлялся и давал на противоположной стене изображение с радужным чередованием цветов. Саму полоску Ньютон назван спектром.

При закрытии отверстия цветными фильтрами на стене наблюдаются только те цвета, которыми закрыт пучок света. Отсюда вывод – призма не окрашивает белый цвет, а лишь разлагает его на составные части.

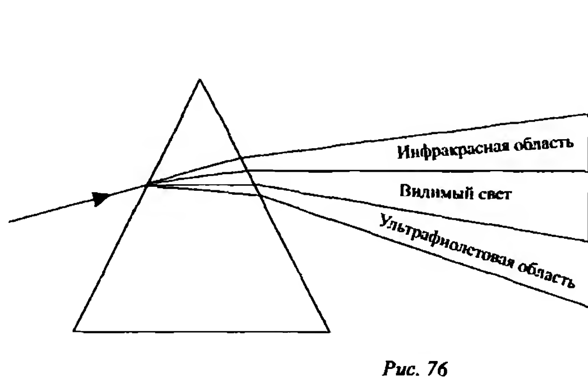


Рис. 76

Зависимость показателя преломления света от частоты колебаний (или длины волны) называется дисперсией.

Скорость света в вакууме не зависит от d или λ волны и равна приблизительно $3\cdot 10^8$ м/с. Если поочередно пропускать через стеклянную призму пучки монохроматического света разной цветности под одним и тем же углом падения, то увидим, что фиолетовый луч преломляется больше, чем красный. Очевидно, $n_ф > n_к$. Абсолютный показатель преломления связан со скоростью распространения света в этой среде формулой: $n = \frac{c}{\upsilon}$.

Следовательно, $n_ф = \frac{c}{\upsilon_ф}$, $n_к = \frac{c}{\upsilon_к}$.

Отсюда следует: $n_а\upsilon_ф = n_к\upsilon_к$; $\frac{n_ф}{n_к} = \frac{\upsilon_к}{\upsilon_ф}$.

Так как $\upsilon_ф < \upsilon_к$, $n_ф > n_к$, для одной и той же среды, то $\upsilon_ф > \upsilon_к$.

Значит, в одном и том же веществе скорости света для различных частот (или длины волн) различны. Различны будут и показатели преломления. Следовательно, показатель преломления света зависит от его частоты.

Зная, что белый свет имеет сложную структуру, можно объяснить удивительное многообразие красок в природе. Если предмет отражает все падающие на него лучи различных цветов, то он будет казаться белым. Покрытая слоем красной краски бумага, отражает только красный лучи, остальные же поглотятся слоем краски. Трава и листья деревьев кажутся нам зелеными лишь потому, что из всех падающих на них солнечных лучей они отражают зеленые, поглощая

остальные. Если посмотреть на траву через красное стекло, пропускающее лишь красные лучи, то она будет казаться почти черной.

Опытами Ньютона установлено, что белый цвет Солнца имеет сложный характер. Анализируя состав света при помощи призмы, можно убедиться, что свет большинства других источников (лампы накаливания, дуговой фонарь и т. д.) имеет сложный характер. Соответствующие участки спектров имеют различную яркость, т. е. энергия распределена различно.

Окраска различных предметов, освещенных одним и тем же источником света, бывает весьма разнообразна, несмотря на то, что все эти предметы освещены светом одного состава. Основную роль в таких эффектах играют явления отражения и пропускания света.

III. Закрепление изученного

- В чем состоит явление дисперсии?
- Как на опыте наблюдать явление дисперсии?
- Какие выводы сделал Ньютон в результате экспериментального изучения дисперсии?
- Какова причина разложения белого света в спектр при прохождении через призму?
- В чем причина возникновения радуги?
- Можно ли искусственно получить радугу?
- В какой среде свет распространяется криволинейно?

IV. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 66.

Подготовить доклады по темам:

1. «Свет и цвета тел».
2. «Цветные тела, освещенные белым светом».
3. «Цветные тела, освещенные цветным светом».
4. «Насыщенность цветов».
5. «Радуга».

Дополнительный материал

Оптика Ньютона

Еще в 60-е гг. XVII в. Ньютон заинтересовался оптикой и сделал открытие, которое, как казалось сначала, говорило в пользу корпускулярной теории света. Этим открытием было явление дисперсии света и простых цветов.

Разложение белого света призмой в спектр было известно очень давно. Однако разобраться в этом явлении до Ньютона никто не смог.

Ученых, занимающихся оптикой, интересовал вопрос о природе цвета. Наиболее распространенным было мнение о том, что белый свет является простым. Цветные же лучи получаются в результате тех или иных его изме-

нений. Существовали различные теории по этому вопросу, на которых мы останавливаться не будем.

Изучая явление разложения белого света в спектр, Ньютон пришел к заключению, что белый свет является сложным светом. Он представляет собой сумму простых цветных лучей.

Ньютон работал с простой установкой. В ставне окна затемненной комнаты было проделано маленькое отверстие. Через это отверстие проходил узкий пучок солнечного света. На пути светового луча ставилась призма, а за призмой экран. На экране Ньютон наблюдал спектр, т. е. удлиненное изображение круглого отверстия, как бы составленного из многих цветных кружков. При этом наибольшее отклонение имели фиолетовые лучи – один конец спектра, и наименьшее отклонение – красные – другой конец спектра.

Но этот опыт еще не являлся убедительным доказательством сложности белого света и существования простых лучей. Он был хорошо известен, и из него можно было сделать заключение, что, проходя призму, белый свет не разлагается на простые лучи, а изменяется, как многие думали до Ньютона.

Для того чтобы подтвердить вывод о том, что белый свет состоит из простых цветных лучей и разлагается на них при прохождении через призму, Ньютон проводил другой опыт.

В экране, на котором наблюдался спектр, делалось также малое отверстие. Через отверстие пропускали уже не белый свет, а свет, имеющий определенную окраску, говоря современным языком, монохроматический пучок света. На пути этого пучка Ньютон ставил новую призму, а за ней новый экран. Что будет наблюдаться на этом экране? Разложит он одноцветный пучок света в новый спектр или нет? Опыт показал, что этот пучок света отклоняется призмой как одно целое, под определенным углом. При этом свет не изменяет своей окраски. Поворачивая первую призму, Ньютон пропускал через отверстие экрана цветные лучи различных участков спектра. Во всех случаях они не разлагались второй призмой, а лишь отклонялись на определенный угол, разный для лучей различного цвета.

После этого Ньютон пришел к заключению, что белый свет разлагается на цветные лучи, которые являются простыми и призмой не разлагаются. Для каждого цвета показатель преломления имеет свое, определенное значение. Цветность этих лучей и их преломляемость не может измениться «ни преломлением, ни отражением от естественных тел, или какой-либо иной причиной», – писал Ньютон.

Это открытие произвело большое впечатление. В XVIII в. французский, поэт Дювард писал: «Но что это? Тонкая сущность этих лучей не может изменяться по своей природе! Никакое искусство не в состоянии его разрушить, и красный или синий луч имеет свою окраску, побеждая все усилия».

Таким образом, простые лучи являются неизменными. Они представляют, можно сказать, атомы света, подобно атомам вещества. Этот вывод казался в хорошем согласии с корпускулярной теорией света. Действительно, неизменные атомы света, простые лучи, являются потоком и однородных частиц, которые, попадая в наш глаз, вызывают ощущение определенного цвета. Смесь же разнородных световых частиц является белым светом. При

прохождении через призму белый свет разлагается. Призма сортирует световые частицы, отклоняя их на разный угол в соответствии с их цветностью.

Открытие дисперсии было расценено Ньютоном и большинством его современников и последователей как факт, подтверждающий корпускулярную теорию света.

С точки зрения волновой теории трудно было объяснить открытие Ньютона, потому что теории распространения волн еще не было. Понимание того, что цвет определяется периодом световой волны, пришло значительно позже. Но даже если бы кто и догадался об этом, то все равно нелегко было представить себе, почему при отражении и преломлении период остается неизменным.

Таким образом, с точки зрения волновой теории понять открытие Ньютона в то время было почти невозможно. И не случайно Гюйгенс в своей работе, о которой мы говорили выше, совсем обошел вопрос о дисперсии света, хотя в 1690 г., когда была опубликована его книга, он уже знал о работах Ньютона по оптике.

Итак, Ньютон встал на точку зрения корпускулярной теории света, на основе которой было легко понять открытое им явление дисперсии света. Но ведь, спросите вы, к этому времени были уже известны явления из области волновой оптики – интерференция и дифракция. Занимаясь исследованиями по оптике, Ньютон не мог пройти мимо них и должен был столкнуться с задачей объяснения этих явлений на основе корпускулярной теории.

И действительно, Ньютон не забыл об этих явлениях и попытался дать им объяснение. Что касается явления дифракции, то он более или менее легко, как казалось, справился с указанной задачей. Когда свет проходит мимо экрана, то между частицами, из которых состоит экран, и световыми лучами (атомами света) действуют силы притяжения. Вследствие этого лучи заходят в область геометрической тени.

Приведенное объяснение было, конечно, неверным. Но в то время, когда явление дифракции было еще недостаточно изучено, такое объяснение казалось убедительным.

Труднее обстояло дело с объяснением явления интерференции. Его уже начали изучать. И сам Ньютон сделал важный шаг в исследовании интерференции света в тонких пленках.

Ученый собрал специальную установку для изучения этого явления. Он взял линзу, положил ее на стеклянную пластинку и наблюдал темные и светлые кольца, которые видны при освещении линзы и пластинки монохроматическим светом. Это так называемые кольца Ньютона.

Как можно объяснить появление этих колец с точки зрения корпускулярной теории света? Падая сверху на линзу, световые лучи на определенных расстояниях от центра либо отражаются, либо преломляются и проходят через установку. В результате чего мы видим систему светлых и темных колец.

Но почему же на одних расстояниях от центра линзы свет отражается, а на других преломляется? На этот вопрос Ньютон ответил, что в одних местах световые лучи (световые частицы) испытывают «приступы легкого от-

ражения», а в других – «приступы легкого преломления». Но почему это происходит, ученый не мог сказать.

Объяснение кольцам Ньютона было дано в начале XIX в. на основе волновой теории света английским ученым Юнгом. Но об этом мы скажем позже. После Ньютона корпускулярная теория света становится общепризнанной. В течение всего XVIII в. ее придерживались почти все физики.

Урок 79. Интерференция и ее применение

Цель: объяснить интерференцию и ее применение.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение изученного

– Что называется дисперсией света?
– Начертите схему получения с помощью призмы спектра белого света. Какие цвета и в какой последовательности мы наблюдаем в спектре?
– В каких пределах длин волн заключены длины волн видимого света?
– Какой свет называют монохроматическим?
– Почему белый свет, проходя сквозь призму, разлагается в цветной спектр?
– Для фиолетового или для красного света будет больше показатель преломления вещества призмы (стекла)?
– Какой свет будет распространяться в веществе с большей скоростью – красный или фиолетовый?
– Что произойдет при соединении всех световых лучей спектра?

III. Изучение нового материала

Очень часто в среде одновременно распространяются несколько различных волн. При беседе нескольких человек в комнате звуковые волны накладываются друг на друга.

Сложение в пространстве волн, при котором образуется постоянное во времени распределение амплитуд результирующих колебаний, называется интерференцией. (Демонстрация интерференции механических волн.)

Для того чтобы при наложении световых волн наблюдалась устойчивая интерференционная картина, необходимо, чтобы волны были когерентны, т. е. имели одинаковую длину волны и постоянную разность фаз.

Интерференцию света удалось наблюдать с помощью установки, предложенной Т. Юнгом. Он был одним из первых, кто понял, что из двух независимых источников света интерференционная картина не получится. Поэтому он пропустил в темную комнату солнечный свет через узкое отверстие, затем с помощью отверстия разделил этот пучок на два. Эти два пучка накладываясь друг на друга, образовали в центре экрана белую полосу, а по краям – радужную.

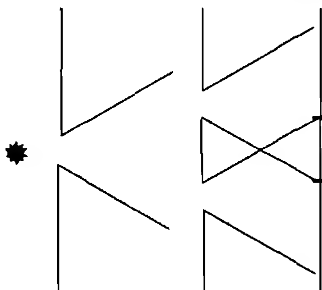


Рис. 77

Таким образом, в опыте Юнга интерференционная картина получилась путем деления фронта волны, исходящей из одного источника, при ее прохождении через два близко расположенных отверстия. В своем опыте Юнг достаточно точно определил длину световой волны: для крайне фиолетовой части спектра он получил значение длины волны 0,42 мкм, для красного света – 0,7 мкм.

Почему возникают радужные пятна на асфальте или радужные мыльные пленки?

Белый свет падает на тонкую пленку. Частично свет (волна 1) отражается от верхней поверхности пленки, частично (волна 2), пройдя через пленку, отражается от нижней поверхности. Обе отраженные волны ($1'$ и $2'$) отличаются разностью хода.

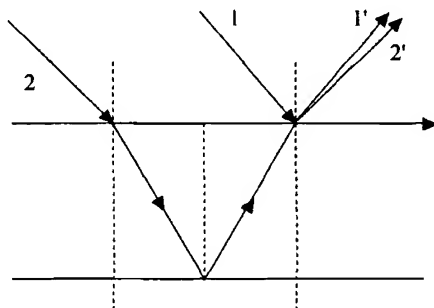


Рис. 78

Естественно, что больший путь пройдет волна, отраженная от жней поверхности пленки, хотя разность хода невелика.

Белый свет немонохроматичен, он содержит электромагнитные волны разной длины. Из-за того, что разность хода зависит от длины волны, максимальные интерференционные картины для разных длин волн получаются в разных точках приемника.

Аналогично возникают и кольца Ньютона.

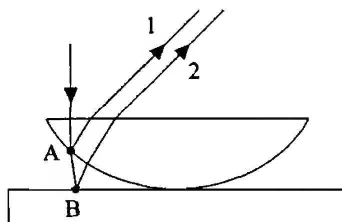


Рис. 79

Применение интерференции

Существуют специальные приборы – интерферометры, действие которых основано на явлении интерференции.

Назначение их может быть различным: точное измерение длины световых волн, измерение показателя преломления газов и др.

Проверка качества обработки поверхности до одной десятой длины волны, т. е. до 10^{-8} м.

Несовершенство обработки определяют по искривлению интерференционных полос, образующихся при отражении света от проверяемой поверхности.

В частности, качество шлифовки линзы можно проверить, наблюдая кольца Ньютона. Кольца будут в форме правильных окружностей только в том случае, если поверхность линзы строго сферическая. Любое отступление от сферичности, больше чем на $0,1\lambda$, будет заметно сказываться на форме колец.

Любопытно, что итальянский физик Э. Торричелли (1608–1647) умел шлифовать линзы с погрешностью до 10^{-6} см. Его линзы хранятся в музее. Видимо, Торричелли обнаружил интерференционные кольца задолго до Ньютона и догадался, что их помощью можно проверять качество шлифовки.

Просветленная оптика

Объективы современных фотоаппаратов или кинопроекторов, перископы и различные другие оптические устройства состоят из большого числа оптических стекол – линз, призм. Проходя через такие устройства, свет отражается от многих поверхностей. Число отражающих поверхностей в современных объективах превышает 10, а в перископах подводных лодок до 40. При падении света перпендикулярно поверхности от каждой поверхности отражается 5–9 % всей

энергии. Через прибор проходит часто всего 10–20 % поступающего в него света.

Для устранения этих неприятных последствий надо уменьшить долю отраженной энергии света. Даваемое прибором изображение делается при этом ярче – «просветляется». Отсюда и происходит термин «просветление оптики».

Просветление оптики основано на интерференции. На поверхность оптического стекла наносят тонкую пленку с показателем преломления $n_п$ с меньшим n_c.

Для того чтобы волны ослабили друг друга должно выполняться условие минимум.

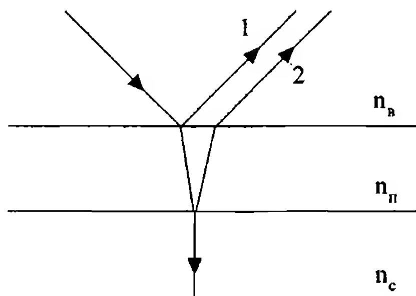


Рис. 80

В отраженном свете разность хода волн равна $\Delta l = 2hn - \frac{\lambda}{2}$, (происходит потеря $\frac{1}{2}\lambda$).

Условие минимум в отраженном свете $\Delta l = \frac{2k\lambda}{2} = k\lambda$.

$$\Delta l = 2hn_п - \frac{\lambda}{2} = b\lambda ,$$

где $n_п$ – показатель преломления пленки; h – толщина пленки.

Отсюда $2hn_п = k\lambda + \frac{1}{2}$ $(k = 0, 1, 2 ...)$.

Минимальная толщина будет при $k = 0$ $2hn_п = \frac{\lambda}{2}$.

При равенстве амплитуд гашение будет полным. Толщину пленки, следовательно, подбирают так, чтобы полное гашение при нормальном падении имело место для длин волн средней части спектра.

Тогда для зеленого цвета – $h = \frac{\lambda_з}{4n_п}$.

Лучи красного и фиолетового цвета ослабляются незначительно, поэтому объективы оптических приборов в отраженном свете имеют сиреневые оттенки.

IV. Закрепление изученного материала

– Что называют интерференцией света? При каких условиях ее наблюдают?
– Объясните интерференцию света в тонких пленках.
– Как записать условия образования интерференционных максимумов и минимумов для световых волн?
– Приведите примеры практического применения интерференции света.

Домашнее задание

п. 67; 68.

Дополнительный материал

Возрождение волновой теории света

Однако все же и в XVIII в. были ученые, которые возражали против этой теории. Из крупных ученых можно назвать русских академиков М. В. Ломоносова и Л. Эйлера.

Ломоносов считал, что свет это распространяющееся колебательное движение частиц эфира, т. е. неощутимой среды, заполняющей все мировое пространство и пронизывающей поры весомых тел.

Против корпускулярной теории света, по Ломоносову, говорит то обстоятельство, что световые лучи, проходя через прозрачное тело с разных сторон, не мешают друг другу. Вокруг алмаза, пишет Ломоносов, можно поставить тысячи свечей, так что тысячи пучков света будут пересекать друг друга и при этом ни один луч не будет мешать другому. Этот факт противоречит представлению о том, что свет – это поток световых частиц, но он не противоречит волновой теории света. Подобно волнам на воде, которые проходят через одну и ту же точку не изменяясь, световые волны проходят через прозрачные тела, не мешая друг другу.

Из изложенного видно, что Ломоносов уже подходил к пониманию явления интерференции.

Эйлер, так же как и Ломоносов, высказывался против корпускулярной теории света. Он уже отчетливо представлял свет как волны, распространяющиеся в эфире. При этом Эйлер впервые высказал идею о том, что цвет определяется частотой колебаний в световой волне.

Однако ни Ломоносов, ни Эйлер не смогли привлечь ученых на сторону волновой теории света.

В конце XVIII в. оптическими исследованиями занялся английский ученый Томас Юнг (1773–1829). Он пришел к важной идее, что кольца Ньютона очень просто можно объяснить с точки зрения волновой теории света, опираясь на принцип интерференции. Он же впервые и ввел название «интерференция» (от латин. *«inter»* – взаимно и *«ferio»* – ударяю).

Весьма вероятно, что интерференцию Юнг открыл, наблюдая это явление для водяных волн. Во всяком случае, описывая это явление, он рассматривал интерференцию водяных волн. Он писал: «Представим себе, что некоторое количество одинаковых водяных волн движется по поверхности гладкого озера с некоторой постоянной скоростью и попадает в узкий канал, выходящий из озера, представим себе также, что под действием другой причины образовался такой же ряд волн, который, как и первый, доходит до этого канала с той же скоростью. Ни один из этих рядов волн не разрушит другого, а их действия соединятся. Если они вступают в канал так, что гребни одного ряда совпадают с гребнями другого, то образуется ряд волн с увеличенными гребнями. Но если гребни одного ряда будут соответствовать впадинам другого, то они в точности заполнят эти впадины и поверхность воды останется гладкой. Я полагаю, что подобные эффекты имеют место всякий раз, когда подобным образом смешиваются две части света. Это явление я называю законом интерференции света».

Юнг, используя явление интерференции, объяснил появление колец Ньютона. Эти кольца в отраженном свете возникают в результате интерференции двух лучей света, отраженных от верхней и нижней поверхностей воздушной прослойки, образованной линзой и стеклянной пластинкой. От толщины этой прослойки будет зависеть разность хода между указанными лучами. В частности, они могут усиливать или гасить друг друга. В первом случае мы видим светлое кольцо, во втором – темное.

Если свет, освещающий установку, белый, то будут наблюдаться цветные кольца. По расположению колец для разных цветов можно подсчитать длину волны соответствующих цветных лучей. Юнг проделал этот расчет и определил длину волны для разных участков спектра. Интересно, что при этом он использовал данные Ньютона, которые были достаточно точными.

Юнг объяснил и другие случаи интерференции в тонких пластинках, а также проделал специальный опыт по интерференции света. Этот опыт, который, как мы говорили, проводил еще Гримальди, известен под названием опыта Юнга.

В данном опыте наблюдается не только явление интерференции, но и явление дифракции света. Если закрыть одно отверстие пальцем, то на экране видны дифракционные кольца, образованные в результате прохождения света через малое отверстие.

Результаты своих исследований по оптике Юнг доложил на ученом заседании Лондонского королевского общества, а также опубликовал их в начале XIX в. Но, несмотря на убедительность работ Юнга, никто не хотел их признавать. Ведь признать правоту выводов Юнга означало отказаться от привычных взглядов и, кроме того, выступить против авторитета Ньютона. На это пока еще никто, кроме самого Юнга, не решался.

На работы Юнга не обратили внимания, а в печати даже появилась статья, содержащая грубые нападки на него. Корпускулярная теория света попрежнему казалась непоколебимой.

Урок 80. Дифракция

Цели: наблюдение явления дифракции; объяснение этого явления.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Проведение самостоятельной работы

Вариант I

1. Одинаковы ли скорости распространения красного и фиолетового излучения в вакууме, стекле? (*В вакууме – да; в стекле – нет.*)

2. Показатель приложения воды при t = 80 °С для различных монохроматических лучей видимого излучения находится в интервале от n_1 = 1,3308 до n_2 =1,3428. Какой из этих показателей является показателем преломления фиолетовых лучей? (n_2).

3. От чего зависит цветность световых волн? (*От частоты.*)

4. В некоторую точку пространства приходят световые пучки когерентного излучения с оптической разностью хода в мкм. Усиление или ослабление света произойдет в этой точке, если длина волны равна 500 нм, 480 нм? (*Усиление, ослабление.*)

5. Излучают ли обычные источники света когерентные волны? (*Нет.*)

6. Каков характер световых волн? (*Поперечные.*)

7. Поверхность воды освещена красным светом, у которого длина волны λ = 0,7 мкм. Какой цвет увидит человек, открыв глаза под водой? Как изменится длина волны? (*Красный; уменьшится.*)

8. Для просветления оптики на поверхность оптического стекла наносят тонкую прозрачную пленку с показателем преломления... ($(n_{пл} < n_с)$.)

Вариант II

1. Могут ли две разноцветные световые волны, красного и зеленого излучения, иметь одинаковые длины волн? (*Могут, если распространяются в различных средах.*)

2. Какие световые волны называются когерентными? (*Имеющие одинаковые частоты.*)

3. Как меняется частота фиолетового излучения при переходе луча из вакуума в воду? (*Не меняется.*)

4. Объектив с просветленной оптикой в отраженном свете имеет сиреневый оттенок. Означает ли это, что красные и фиолетовые лучи, дающие фиолетовый оттенок, не проходят через объектив? (*Проходят, ослабляясь незначительно.*)

5. Для чего в опыте по разложению света в качестве источника света берется узкая светящаяся щель? (*Чтобы получившиеся цветные полосы не откладывались друг на друга.*)

6. Через призму смотрят на большую белую стену. Будет ли эта стена окрашена в свет спектра? (*Нет.*)

7. Что называется дисперсией?

8. Для просветленной оптики на поверхность оптического стекла наносят тонкую прозрачную пленка с показателем преломления... ($(n_{пл} < n_c)$.)

III. Изучение нового материала

Впервые дифракцию света наблюдал итальянский ученый Ф. Гримальди в середине XVII в. В узкий пучок света Гримальди помещал различные предметы, в частности тонкие нити. При этом тело на экране оказалось шире, чем это должно быть согласно геометрической оптики. Кроме того, по обе стороны тени обнаруживались цветные полосы.

Демонстрация дифракции с узким экраном

Экраном служит тонкая проволока (диаметр 0,1 мм), гладкая капроновая нить, волос. Проволока, нить или волос натягиваются на деревянную или картонную рамку. Источником света служит лампа проектора. Дифракционная картина видна на белом переносном экране, рассеивающим свет. В середине дифракционной картины всегда образуется светлая полоса. При освещении белым светом эта светлая полоса является белой. Если медленно изменять расстояние до источника, можно наблюдать смену центральной светлой полосы на темную.

Дифракцию сферических волн принято называть дифракцией Френеля.

Дифракция на круглом отверстии

Нетрудно оценить интенсивность света в центре дифракционной картины в зависимости от радиуса отверстия (см. рис. 81). Для этого нужно провести сферу с центром в точке A, где расположен источник, чтобы она проходила через край отверстия.

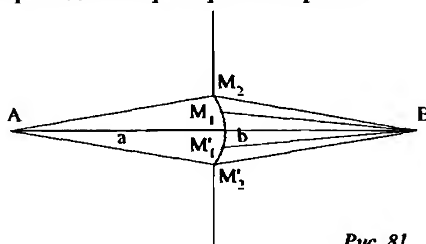


Рис. 81

Затем постройте зоны Френеля и посмотрите, сколько зон укладывается в отверстии. Максимум амплитуды колебаний в точке B экрана, а значит и максимум интенсивности будет при одной полностью открытой зоне. При двух открытых зонах Френеля в точке B наблюдается минимум и возникает темное пятно.

Всегда при четном числе открытых зон Френеля в точке B будет минимум, а при нечетных максимум. Если число зон, укладывающихся в отверстии, велико, то экран не влияет на интенсивность света в точке B.

Любопытный случай произошел на заседании Французской академии наук в 1818 г. Присутствующий на заседании известный физик С. Пауссон обратил внимание на то, что из теории Френеля вытекает факт, явно противоречащий здравому смыслу. За маленьким непрозрачным диском должно находиться светлое пятно в центре тени. Каково же было удивление ученых, когда тут же поставленные Д. Араго эксперименты доказали, что так и есть на самом деле.

Границы приемлемости геометрической оптики

Если наблюдение ведется на расстоянии $l > \frac{d^2}{\lambda}$, где d – размер предмета, то начинают проявляться волновые свойства света. Интерференциальные картины от различных точек предмета перекрываются, и изображение смазывается, поэтому прибор не выделяет отдельные детали предмета. Дифракция устанавливает предел разрешающей способности любого оптического прибора. Разрешающая способность глаза приблизительно равна угловой минуте:

$$\alpha = \frac{\lambda}{D},$$

где D – диаметр зрачка; телескоп – $\alpha \approx 0{,}02''$; микроскоп – увеличение не более $2 \cdot 10^3$ раз.

Можно видеть предметы, размеры которых соизмеримы с длиной световой волны.

IV. Закрепление изученного материала

- Что называется дифракцией света? При каких условиях она наблюдается?
- Сформулируйте и поясните принцип Гюйгенса. Что можно определить с его помощью?
- Попытайтесь на основе принципа Гюйгенса объяснить дифракцию волн.
- В чем сущность принципа Гюйгенса–Френеля?
- Как выглядит дифракционная картина?

Домашнее задание

п. 70–71.

Дополнительный материал

Борьба за признание волновой теории света

Френель не случайно в первых своих работах обошел вопрос о поляризации света. Ведь, рассматривая световые волны как волны в эфире, Френель считал их продольными. Эфир – это очень тонкая материя, он подобен очень разреженному воздуху. А в воздухе, как уже все знали, могут распространяться только продольные волны, например звуковые, т.е. сгущения и разрежения воздушной среды. В звуковых волнах ничего подобного явлению поляризации не наблюдается.

Если бы, конечно, поляризация света не была еще известна, то вопрос о волновой природе света решить было бы проще. Но явление поляризации света было открыто.

Датский физик Бартолин еще в XVII в. исследовал явление двойного лучепреломления. Он наблюдал, что если на кристалл исландского шпата падает луч света, то он при преломлении раздваивается. Если смотреть на точечный источник света через этот кристалл, то можно увидеть не один, а два таких источника. Это явление зависит от ориентации кристалла относительно луча.

В кристалле есть направление, по которому раздваивание луча не происходит. Это направление называется оптической осью кристалла.

Явлением двойного лучепреломления в начале XIX в. заинтересовался французский инженер Малюс. Исследуя это явление, он обнаружил, что если смотреть через кристалл исландского шпата на изображение Солнца в стекле, то при одних положениях этого кристалла видно два солнца, а при определенном положении стекла и кристалла одно из изображений пропадает, даже если световые лучи направлены не вдоль оптической оси.

Малюс был сторонником корпускулярной теории света и с точки зрения этой теории попытался объяснить наблюдаемое явление.

Он рассуждал так: световые частицы не являются шариками. Они подобно магнитам имеют полюсы. В обычном свете эти частицы летят, будучи ориентированы в пространстве хаотично. При отражении же от стекла или воды они как бы сортируются. Одни, у которых полюсы ориентированы определенным образом, преломляются, а другие, ориентируемые иначе, отражаются. При определенном угле падения эта сортировка будет наиболее полной. И в этом случае отраженные световые частицы будут ориентированы все в одном направлении. В этом случае отраженный свет будет полностью поляризован. Малюс и назвал это явление поляризацией. Слово «поляризация» он придумал исходя из идеи о том, что частицы света имеют полюсы.

После открытия Малюса стали усиленно изучать явление поляризации света. Был выяснен целый ряд свойств поляризованного света. Однако ученые все-таки пытались объяснить это явление с точки зрения корпускулярной теории.

Создалось такое положение, когда Юнг и Френель прекрасно объяснили явление интерференции и дифракции, пользуясь представлениями о волновой природе света, но не могли объяснить поляризацию света.

Раздумывая над явлениями поляризации и двойного лучепреломления, Юнг и Френель пришли к убеждению о необходимости считать световые волны не продольными, а поперечными. С помощью этой гипотезы Френель исследовал указанные явления и разработал теорию прохождения поперечных волн через двояко преломляющее тело. Но все же гипотеза о поперечности световых волн вызвала много возражений.

Действительно, уже было известно, что поперечные волны могут существовать и распространяться только в твердых телах. Поэтому эфир нужно было рассматривать как твердое тело. Но эфир ведь очень «тонкая среда», гораздо более «тонкая», чем воздух. Он не оказывает никакого сопротивления движению в нем тел. Планеты, например, движутся в эфире, не испытывая никакого сопротивления. Как же можно считать эфир твердым телом?

Больше того, всякое тело обладает упругостью по отношению к сжатию. А это значит, что в нем могут распространяться волны сжатия и разрежения, т.е. продольные волны. Следовательно, в каждом твердом теле могут возникать и продольные и поперечные волны. Если только признать, что тело является абсолютно несжимаемым или абсолютно твердым, то в нем должны отсутствовать продольные волны. Следовательно, эфир нужно было бы рассматривать не только как твердое тело, но и как абсолютно твердое тело. Такой эфир, конечно, представить себе было трудно.

Однако постепенно, несмотря на все трудности, стоявшие перед гипотезой о поперечности световых волн, волновая теория света начала побеждать и вытеснять корпускулярную теорию света.

Новые исследования интерференции и дифракции света, в частности изобретение дифракционной решетки, все больше и больше подтверждали эту теорию. Все больше ученых переходит на сторону волновой теории света. Можно считать, что к 40-м гг. XIX в. волновая теория света становится общепризнанной.

Что же касается теории эфира, то над построением ее бились многие ученые. Но никто из них не мог получить удовлетворительных результатов; никто не мог составить удовлетворительного представления о такой среде, в которой могут существовать только поперечные волны, обладающие свойствами световых волн.

В 1864 г. Максвелл высказал гипотезу об электромагнитной природе света. Спустя почти двадцать лет Герц подтвердил ее на опыте. После этого перед физиками встала проблема построить теорию эфира, которая давала бы объяснение электрическим и магнитным явлениям, а значит и оптическим.

Ученые долго трудились над этой проблемой, предлагая различные модели этой гипотетической среды. Было создано много теорий, но ни одну из них не признали удовлетворительной. Эфир ускользал от попыток физиков построить его теорию.

Появилось даже мнение о невозможности построения такой теории. Так продолжалось до возникновения теории относительности, которая привела к

новым представлениям о сущности электромагнитных, а вместе с этим и оптических явлений.

Урок 81. Лабораторная работа по теме «Наблюдение интерференции и дифракции света»

Оборудование: пластины стеклянные – 2 шт.; лоскуты капроновые или батистовые; засвеченная фотопленка с прорезью, сделанной лезвием бритвы; грампластинка (или осколок грампластинки); штангенциркуль; лампа с прямой нитью накала (одна на весь класс).

Ход урока

Наблюдение интерференции

1. Стеклянные пластины тщательно протрите, сложите вместе и сожмите пальцами.

2. Рассмотрите пластины в отраженном свете на темном фоне (расположить их надо так, чтобы на поверхности стекла не образовались слишком ярки блики от окон или белых стен).

3. В отдельных местах соприкосновения пластин наблюдайте яркие радужные кольцеобразные или неправильной формы полосы.

4. Заметьте изменения формы и расположения полученных интерференционных полос с изменением нажима.

5. Попытайтесь увидеть интереференционную картину в проходящем свете.

Наблюдение дифракции

1. Установите меду губками штангенциркуля щель шириной 0,5 мм.

2. Приставьте щель вплотную к глазу, расположив ее вертикально.

3. Смотря сквозь щель на вертикально расположенную светящуюся нить лампы, наблюдайте по обе стороны нити радужные полосы (дифракционные спектры).

4. Изменяя ширину щели от 0,5 до 0,8 мм, заметьте, как это изменение влияет на дифракционные спектры.

5. Наблюдайте дифракционные спектры в происходящем свете с помощью лоскутов капрона или батиста, засвеченной фотопленки с прорезью.

6. Проведите наблюдение дифракционного спектра в отраженном свете с помощью грампластинки, расположив ее горизонтально на уровне глаз.

Домашнее задание

п. 68–71.

Урок 82. Дифракционная решетка

Цель: рассмотреть практическое применение дифракции света.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Анализ эксперимента

Наблюдение дифракции света

Оборудование: два лезвия, источник света, пленка с отверстиями разного диаметра, грампластинка, компакт-диск, полоска капрона.

1. Наблюдение.

Сквозь вертикальную цель, образованную двумя лезвиями бритвы, наблюдайте источник света.

– Можно ли заметить разделение светового потока на линии?
– Много ли этих линий?
– Какого они цвета?
– Чем являются окрашенные световые линии: максимумами или минимумами интерференционной картины?
– Почему происходит разложение белого света в спектре при прохождении им щели?
– Изменяется ли наблюдаемая картина, если размер щели увеличить?

2. Выполните наблюдение дифракции на круглом отверстии.

– Чем отличается вид полученной картины от картины дифракции на щели?
– Докажите, максимум или минимум наблюдается в центре картины.

Выполните примерный рисунок наблюдаемой картины.

3. Сравните дифракционные картины, получаемые с помощью полоски капрона, части грампластинки или компакт-диска. Сделайте схематические рисунки.

III. Изучение нового материала

Дифракционная решетка представляет собой совокупность большого числа узких щелей, разделенных непрозрачными промежутками. Хорошая решетка изготавливается с помощью специальной делительной машины, наносящей на стеклянной пластинке параллельные штрихи. Количество штрихов доходит до нескольких тысяч на 1 мм. Просты в изготовлении платиновые отпечатки с такой решетки, зажатые между двумя стеклянными пластинками. Наилучшим каче-

ством обладают отражательные решетки. Они представляют собой чередование участков отражающих свет и рассеивающих его.

Период решетки:

$$d = a + b,$$

где d – период решетки; a – ширина прозрачных щелей; b – ширина непрозрачных щелей.

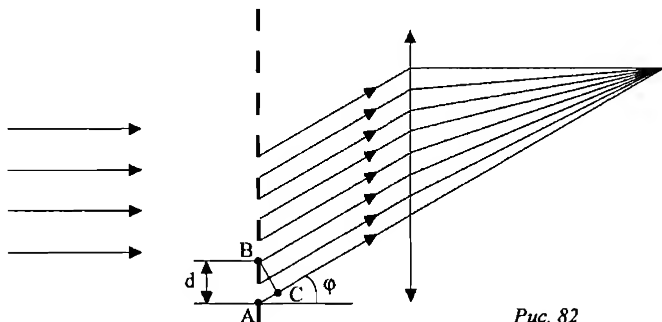


Рис. 82

Пусть на решетку падает плоская монохроматическая волна длиной λ. Вторичные источники в щелях создают световые волны. Разность хода между волнами равна длине АС. Если в этом отрезке укладывается целое число длин волн, то волны от всех щелей будут складываться, усиливая друг друга.

Из ΔАВС $AC = AB\sin\varphi = d\sin\varphi$.

Максимум будет наблюдаться при условии:

$$d\sin\varphi = k\lambda, \quad k = 0, 1, 2 \ldots$$

Наши ресницы с промежутками между ними представляют грубую дифракционную решетку. Поэтому если смотреть, прищуриваясь, на яркий источник света, можно обнаружить радужные цвета. Лазерный диск подобен отражательной дифракционной решетке.

IV. Решение задач

Задача № 1

На каком расстоянии от дифракционной решетки нужно поставить экран, чтобы расстояние между нулевым максимум и спектром четвертого порядка было равно 50 мм, длина волны $5 \cdot 10^{-7}$ м, период решетки 0,02 мм.

Дано:	**Решение:**
k = 4;	
$l = 5\cdot10^{-2}$ м;	
$\lambda = 5\cdot10^{-7}$ м;	
$d = 2\cdot10^{-5}$ м.	
$x - ?$	

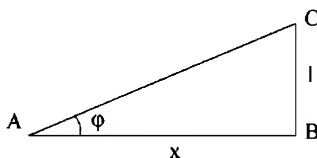


Рис. 83

$d\sin\varphi = k\lambda$.

Из ΔABC $\sin\varphi = \frac{BC}{AC} = \frac{l}{AC}$, $AC^2 = AB^2 + BC^2$, $AC = \sqrt{AB^2 + BC^2}$,

$\sin\varphi = \frac{l}{\sqrt{x^2 + l^2}}$, $\sin\varphi = \frac{k\lambda}{d}$, $\frac{k\lambda}{d} = \frac{l}{\sqrt{x^2 + l^2}}$, $x = \sqrt{\frac{l^2(d^2 - k^2\lambda^2)}{k^2\lambda^2}}$,

$x = 0,5$ м.

(*Ответ:* $x = 0,5$ м.)

Задача № 2

Найти наибольший порядок спектра красной линии лития с длиной волны 671 нм, если период дифракционной решетки 0,01 мм.

Дано:	**Решение:**
$\lambda = 6,71\cdot10^{-7}$ м	$d\sin\varphi = k\lambda$.
$d = 10^{-5}$ м.	$k = \frac{d\sin l}{\lambda}$ и будет максимальным, если
$k_{max} - ?$	$\sin\varphi = 1 \Rightarrow k_{max} = \frac{d}{\lambda}$; $k_{max} = 15$.

(*Ответ:* $k_{max} = 15$)

Задача № 3

При помощи дифракционной решетки с периодом 0,02 мм получено первое дифракционное изображение на расстоянии 3,6 см от центрального и на расстоянии 1,8 от решетки. Найти длину световой волны.

Дано:	**Решение:**
$d = 2\cdot10^{-5}$ м;	
k = 1;	
$l_1 = 3,6\cdot10^{-2}$ м;	
$l = 1,8$ м.	
$\lambda - ?$	

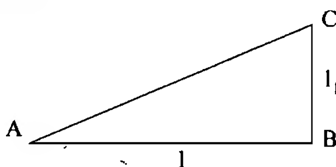


Рис. 84

$d\sin\varphi = k\lambda$; $\lambda = \frac{d\sin\varphi}{k}$.

Рассмотрим ΔABC: $tg\varphi = \frac{BC}{AB} = \frac{l_1}{l}$.

Так как $l >> l_1$, то при малых углах $tgl \approx \sin\varphi$.

$\lambda = \frac{d\sin\varphi}{k} = \frac{dl_1}{kl}$. $\lambda = 0{,}4$ мкм.

(*Ответ:* $\lambda = 0{,}4$ мкм.)

Домашнее задание

п. 72.

Р – 1064; Р – 1066.

Дополнительный материал

Исследования Френеля по интерференции и дифракции света

Французский инженер, ставший впоследствии знаменитым физиком, Огюстен Френель (1788–1827) начал заниматься изучением явлений интерференции и дифракции с 1814 г. Он не знал о работах Юнга, но подобно ему увидел в этих явлениях доказательство волновой теории света.

В 1817 г. Академия наук Франции объявила конкурс на лучшую работу по дифракции света. Френель решил участвовать в этом конкурсе. Он написал работу, в которой изложил результаты своих исследований, и направил ее в Академию наук в 1818 г. В этой работе Френель изложил ряд случаев интерференции света, которые он исследовал. В частности, он описал опыт по интерференции света при прохождении через две соединенные вместе призмы, так называемая бипризма Френеля.

Опыт Френеля ясно показывает случай интерференции от двух источников света. С помощью этого опыта Френель подсчитал длину волны для красного света. При этом она получилась равной длине волны для красного света, определенной из других опытов.

Основное же внимание в своей работе Френель уделил опытам по дифракции света, для которой разработал специальную теорию. Эта теория основывалась на усовершенствованном принципе Гюйгенса, который в последующем стал называться принципом Гюйгенса – Френеля.

По Гюйгенсу, как мы видели выше, волновую поверхность в данный момент времени t можно рассматривать как огибающую всех сферических волн, источниками которых являются все точки волновой поверхности в более ранний, предыдущий момент времени t_0.

По Френелю, значение амплитуды световой волны в какой-либо точке пространства в момент времени t можно рассматривать как результат интерференции всех сферических волн, источниками которых являются все точки волновой поверхности в более ранний, предыдущий момент времени t_0.

Френель, используя этот принцип, исследовал разные случаи дифракции и рассчитал расположение полос для этих случаев.

Так, он рассмотрел прохождение света через маленькое отверстие и определил, какая картина должна быть видна на экране, поставленном за этим

отверстием. По его расчетам получалось, что на экране будут видны темные и светлые кольца, если свет монохроматический. При этом Френель вычислил радиусы этих колец в зависимости от размеров отверстия, от расстояния источника света до отверстия и расстояния отверстия до экрана, на котором наблюдается дифракционная картина.

Френель описал и другие случаи дифракции света от различных экранов и рассчитал расположение дифракционных полос, исходя из волновой теории. При этом все расчеты Френеля совпадали с результатами, наблюдаемыми на опыте.

Работы, представленные на конкурс, рассматривала специальная комиссия Академии наук. В ее составе были крупнейшие ученые того времени: Араго, Пуассон, Био, Гей-Люссак. Все они придерживались ньютоновских взглядов на природу света. Естественно, что они недоверчиво отнеслись к работе Френеля. Однако совпадение расчетов Френеля с опытными данными было настолько хорошим, что комиссия не могла отвергнуть работу Френеля и была вынуждена присудить ему премию.

При этом произошел интересный случай. Рассматривая расчеты Френеля, член комиссии Пуассон заметил, что они приводят к парадоксальному результату: согласно Френелю получалось, что в центре тени от круглого экрана должно быть светлое пятно. Однако этого до сих пор никто не наблюдал. Из теории Френеля следовало, что это светлое пятно будет заметно только в том случае, если радиус круглого экрана будет малым. Проделанный опыт подтвердил предсказание теории Френеля, что произвело большое впечатление на членов комиссии.

Итак, комиссия Академии наук присудила премию Френелю за его работу по оптике. Однако это вовсе не значит, что волновая теория была признана правильной. Премия ученому была дана за метод расчета. Что же касалось самих представлений, на основе которых был сделан расчет, т.е. представлений о волновой природе света, то академики, рассматривающие работу Френеля, не согласились с ним.

Они рассуждали примерно так: физические основы теории могут быть неверны, а результаты расчета правильны. Такие случаи история знала. Например, пользуясь теорией Птолемея о строении Вселенной, можно вести расчеты и получать правильные результаты положений небесных светил на небе, однако по существу она неверна.

Нужно сказать в защиту академиков, что, несмотря на блестящие результаты, полученные Френелем, в его теории был определенный изъян. Дело в том, что кроме интерференции и дифракции, физики уже исследовали поляризацию света. Но теория Френеля вопросов поляризации света не касалась. Более того, казалось, что она не в состоянии их объяснить.

Урок 83. Лабораторная работа по теме: «Измерение длины световой волны»

Оборудование: необходимые средства измерения.

Ход урока

В работе для определения длины световой волны используется дифракционная решетка с периодом $\frac{1}{100}$ мм или $\frac{1}{50}$ мм (период указан на решетке). Она является основной частью измерительной установки, показанной на рис. 85.

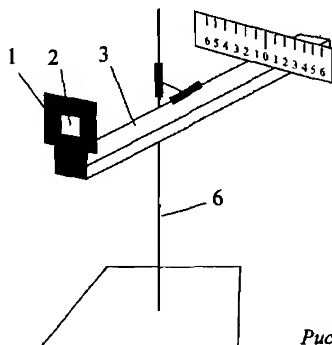


Рис. 85

Решетка 1 устанавливается в держателе 2, который прикреплен к концу линейки 3. На линейке же располагается черный экран 4 с узкой вертикальной щелью 5 посередине. Экран может перемещаться вдоль линейки, что позволяет изменять расстояние между ним и дифракционной решеткой. На экране и линейке имеются миллиметровые шкалы. Вся установка крепится на штативе 6.

Если смотреть сквозь решетку и прорезь на источник света (лампу накаливания или свечу), то на черном фоне экрана можно наблюдать по обе стороны от щели дифракционные спектры 1-го, 2-го и т. д. порядков.

Длина волны λ определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{d \sin \varphi}{k},$$

где d – период решетки; k —порядок спектра; φ – угол, под которым наблюдается максимум света соответствующего цвета.

Поскольку углы, под которыми наблюдаются максимумы, 1-го и 2-го порядков, не превышают 5°, можно вместо синусов углом использовать их тангенсы. Из рис. 86 видно, что $tg\varphi = \frac{b}{a}$.

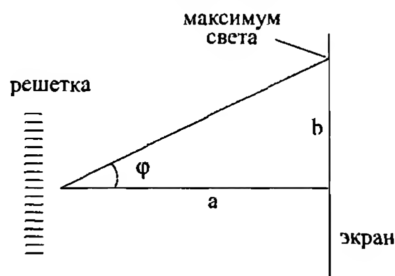


Рис. 86

Расстояние a отсчитывают по линейке от решетки до экрана, расстояние b – по шкале экрана от щели до выбранной линии спектра.

Окончательная формула для определения длины волны имеет вид:

$$\lambda = \frac{db}{ka}.$$

В этой работе погрешность измерений длин волн не оценивается из-за некоторой неопределенности выбора середины части спектра данного цвета.

Подготовка к проведению работы

1. Подготовьте бланк отчета с таблицей для записи результатов измерений и вычислений.

2. Соберите измерительную установку, установите экран на расстоянии 50 см от решетки.

3. Глядя сквозь дифракционную решетку и щель в экране на источник света и перемещая решетку в держателе, установите ее так, чтобы дифракционные спектры располагались параллельно шкале экрана.

Проведение эксперимента, обработка результатов измерений

1. Вычислите длину волны красного света в спектре 1-го порядка справа и слева от щели в экране, определите среднее значение результатов измерений.

2. Проделать то же для фиолетового света.

3. Сравните полученные результаты с длинами волн красного и фиолетового цвета на цветной вклейке (V, 1).

Контрольный вопрос

Чем отличается дифракционный спектр от дисперсионного?

Домашнее задание

п. 72;

Р – 1067.

Урок 84. Поперечность световых волн. Поляризация света

Цель: рассмотреть явление поляризации.

Оборудование: две чистые стеклянные пластинки небольшого размера; соломинка для выдувания мыльных пузырей; проволочное кольцо, раствор мыла.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Анализ эксперимента

Наблюдение интерференции света

1. Чистые стеклянные пластинки положите друг на друга, прижмите. В отраженном свете на темном фоне поищите (особенно по краям) цветные интерференционные полосы.

Выделите особенности наблюдаемого явления: постоянная картина или нет; есть ли максимумы; окрашены ли полосы.

Вид картины зарисуйте. Выполните рисунок с объяснением метода образования когерентных источников света. Изучите, как меняется интерференционная картина. Получится ли опыт в проходящем свете?

2. Получите мыльную пленку на проволочном кольце и мыльные пузыри.

- Как доказать, что и в этом случае наблюдается интерференционная картина?
- Отличается ли эта картина в опыте с пластинками?
- В каком свете наблюдается интерференционная картина?
- О чем говорит изменение вида полос на мыльной пленке?
- Сколько максимумом можно зафиксировать?

III. Изучение нового материала

1. Анализ эксперимента.

Явление интерференции и дифракции не оставляют сомнений в том, что распространяющийся свет обладает свойствами волн. Но остался вопрос: какие это волны – продольные или поперечные?

Опыт с кристаллом турмалина

Возьмите пластинку турмалина. Если направить нормально на такую пластинку пучок света от электрической лампы или Солнца, то вращение пластинки никаких изменений не принесет. Заставим пучок пройти через второй точно такой же кристалл турмалина, параллельный первому. В этом случае при одинаково направленных

осях кристаллов опять ничего не произойдет, только световой пучок будет более ослабленным. Но если второй кристалл вращать, то обнаружится гашение света.

Из этих фактов следует, что:

- световая волна, идущая от источника света, полностью симметрична относительно направлению распространения;
- вышедшая волна из первого кристалла не обладает осевой симметричностью.

Продольные волны обладают полной симметричностью по отношению к направлению распространения. Объяснить это можно, если предположить, что свет – поперечная волна. Световая волна с колебаниями по всем направлениям, перпендикулярна направлению распространения, называемой естественной.

Кристаллы турмалина обладают способностью пропускать световые волны с колебаниями, лежащими в одной плоскости. Такой свет называют поляризованным.

Таким свойством обладает не только турмалин, но и поляроиды, представляющие тонкую (0,1 мм) пленку кристалла герапатита, нанесенную на целлулоид или стеклянную пластинку.

2. Комментарий учителя.

Применение поляризованного света

Регулировка освещенности, гашение зеркальных бликов при фотографировании, предупреждение ослепления водителя встречным транспортом.

Поляризация происходит так же при отражении света от поверхности диэлектрика и при преломлении света.

IV. Закрепление изученного

- Что представляет собой естественный свет?
- В чем состоит явление поляризации волн?
- Каким свойством обладает кристалл турмалина?
- О чем свидетельствует данный опыт?

V. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 73; 74.

Урок 85. Урок-игра.
Конкурс умников и умниц по теме: «Оптика»

Цели: обобщить, повторить материал по теме «Оптика»; развивать устную речь учащихся, коммуникативные способности.

Оборудование: ордена «умников» по числу вопросов; дорожки трех цветов с клетками – квадратами (красная дорожка состоит из двух квадратов; желтая – из трех; зеленая – из четырех); вопросы и задания.

Ход урока

I. Организационный момент

I. Вступительное слово учителя

«Если бы оптик пытался продать мне инструмент, в котором оказались бы недостатки, присущие глазу, то я считал бы себя вправе высказать ему в самых резких выражениях порицание за небрежную работу и вернуть ему инструмент с протестом».

(*Г. Гельмгольц*)

II. Ход игры

Выявляем троих «умников». Учащиеся отвечают на «отборочные» вопросы. За полный и правильный ответ ученик получает орден «умника». Три владельца наибольшего числа орденов разыгрывают дорожки.

Особенности дорожек:

- на красной дорожке – игрок не должен ошибаться, ему зададут всего один вопрос;
- на желтой дорожке – игрок должен верно ответить на один из двух предложенных вопросов, он имеет право на одну ошибку;
- на зеленой дорожке – игрок должен ответить правильно хотя бы на один из трех вопросов.

Игрок, первым прошедший свою дорожку, становится «умником» и садится на «трон». Оставшиеся два игрока присоединяются к «теоретикам».

Далее игра идет между «умниками».

Участники игры получают оценки в журнале.

«Отборочные» вопросы

1. Приведите доказательства электромагнитной природы света.

2. Можно ли увидеть световой луч?

3. Что такое «узкий» световой пучок? Насколько узок «узкий» световой пучок?

4. Что такое световой луч? Является ли световой луч объективной реальностью?

5. Какими свойствами обладает точечный источник света? Каких свойств у него нет?

6. Какими свойствами обладает световой луч? Каких свойств у него нет?

7. Что позволяет нам использовать такие вымышленные объекты, как точечный источник света, световой луч, для объяснения и предсказания световых явлений, для разработки световых приборов?

8. Как соотносятся геометрическая и волновая оптика?

9. На примере развития взглядов на природу света покажите характер изменения основных идей и теоретических концепций. Типично ли подобное отрицание для процесса познания или это единичный случай?

10. Какой метод определения скорости света важнее: астрономический или лабораторный?

11. Какую роль в науке сыграл факт совпадения экспериментально определенного значения скорости света с его численным значением, теоретически полученным Максвеллом?

12. Почему принцип Гюйгенса называют принципом, а не законом или правилом?

13. О чем говорит тот факт, что экспериментальный закон преломления света может быть получен теоретически на основании принципа Гюйгенса?

14. Какой закон диалектики может быть проиллюстрирован рассмотрением явления преломления света при прохождении луча из оптически более плотной среды в менее плотную, когда угол падения постепенно увеличивается от 0 до 90°?

15. Сколько цветов в спектре солнечного света?

Вопросы для определения дорожки

Для игрока на красной дорожке

1. Мальчик определял время по длине тени: «Когда тень от крыши соседского дома, падавшая на стену, покрытую в верхней своей части двумя рядами листового железа, проходит верхний ряд, – самое время идти в школу». Потом неделю шли дожди, еще неделю было пасмурно, и когда мальчик пошел в школу, ориентируясь на тень от своего дома, то он опоздал.

Почему мальчик опоздал? (*Высота солнца над горизонтом в одно и то же время суток, но в разные дни неодинакова вследствие движения Земли вокруг Солнца.*)

Для игрока на желтой дорожке

1. Как вы знаете, интерференцию можно наблюдать только в тонких пленках. Что значит «тонкая» пленка? Свой ответ обоснуйте.

2. «Комната, в которую вступил Иван Иванович, была совершенно темна, потому что ставни были закрыты, и солнечный луч, проходя в дыру, сделанную в ставне, принял радужный цвет и, ударяясь в противостоящую стену, рисовал на ней пестрый ландшафт из очере-

тяных* крыш, деревьев и развешанного на дворе платья, все только в обращенном виде».

Объясните явление. Какой физический прибор действует на основе этого явления?

Для игрока на зеленой дорожке

1. Можно ли утверждать, что световые волны взаимодействуют, когда происходит явление интерференции света? Возможно ли вообще взаимодействие световых волн друг с другом?

2. Как вы считаете, имеем ли мы право называть геометрическую оптику физической теорией или это следствие, как говорят, предельный случай волновой оптики?

3. «С каждой минутой полный дивк Луны все более и более входил в тень Земли, и тьма неумолимо и величественно наплывала на лунные кратеры. Казалось, что огромный бедный шар приблизился к земле и стал еще больше. Луна приобрела медный оттенок, а затем та часть ее поверхности, которая не была еще охвачена мраком, стала пепельно-серой <...> Кольцо тени все больше и больше закрывало луну – оно теперь уже заволокло более половины ее кроваво-красного диска. <...> ... багровая мгла сгущалась все и больше и больше...».

Какое явление вы узнаете в этом отрывке? Почему Луна приобрела медный оттенок? (*Лунное затмение. Покраснение Луны во время затмения связано с тем, что лучи солнечного света достигают ее поверхности пройдя сквозь атмосферу Земли. Они окрашиваются в красноватый цвет, потому что голубые оттенки рассеиваются в воздухе. Окрашивание происходит так же, как меняется цвет Солнца и Луны у горизонта: эти небесные светила становятся красноватыми на восходе и закате. Отражаясь от поверхности Луны, лучи света попадают в глаз наблюдателя, еще раз пройдя сквозь атмосферу. При этом они еще более краснеют.*)

Глава 9. Элементы теории относительности

Урок 86. Постулаты специальной теории относительности

Цель: показать необходимость новой теории «Специальная теория относительности».

---

* Очерет – тростник.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Анализ контрольной работы

III. Изучение нового материала

Во второй половине XII в. Максвелл развил теорию электромагнетизма. Он показал, что свет – электромагнитная волна. Уравнение Максвелла подсказало, что скорость света $\approx 3 \cdot 10^8$ м/с. Предсказания совпали с экспериментальными измерениями в пределах погрешности. Но в какой системе отсчета?

У Максвелла в уравнениях нет оговорок насчет относительной скорости. Физики предположили, что свет распространяется в какой-то среде. Эту среду назвали эфиром, который заполняет все пространство.

Предположим, что значение скорости по Максвеллу достигается в Системе отсчета, связанной с эфиром. Тогда скорость света в различных системах отчета различна?

А. Майкельсон и Э. Морин провели опыты по измерению скорости света в направлении движения Земли и в противоположном направлении. Никакого различия в скорости света им обнаружить не удалось. Это означало, что никакой среды эфира не существует.

Таким образом, обнаружились определенные противоречия между электродинамикой и механикой Ньютона, законы которой согласуются с принципом относительности. Возникшие противоречия можно было преодолеть тремя различными способами:

1. Объяснить несостоятельность принципа относительности в применении к электромагнитным явлениям. На эту точку встал голландский физик Х. Лоренц.

2. Считать неправильными сами уравнения Максвелла и попытаться изменить их таким образом, чтобы они при переходе от одной инерционной системы к другой не менялись. Такая попытка была предпринята Г. Герцем.

3. В отказе от классических представлений о пространстве и времени, с тем чтобы сохранить как принцип относительности, так и уравнения Максвелла.

Единственно правильным оказалась именно третья возможность. Последовательно развил ее Эйнштейн. Он пришел к новым представлениям о пространстве и времени.

Первые два пути были опровергнуты экспериментами.

(Можно дать ученикам доклады о проведенных экспериментах, указав литературу.)

Принцип относительности – главный постулат теории Эйнштейна.

Все законы природы одинаковы в любой инерциальной системе отсчета. Это означает, что во всех инерциальных системах физические законы имеют одинаковую форму. Таким образом, принцип относительности классической механики обобщается на все процессы в природе, в том числе и на электромагнитные.

Второй постулат – скорость света в вакууме одинакова для всех инерциальных систем отсчета.

Она не зависит не от скорости источника, ни от скорости приемника света. Скорость света занимает особое положение.

В данном случае специальная теория относительности находится в противоречии с классическими представлениями о пространстве и времени, которые при больших скоростях движения уже несправедливы. Наличием верхнего предела скорости объясняется существование «черной дыры» – астрономического объекта.

IV. Закреплении изученного

- Объясните сущность теории относительности.
- Каким путем Эйнштейн решил противоречия, возникшие при применении принципа относительности к законам электродинамики?
- Сформулируйте постулаты теории относительности и объясните их сущность.

Домашнее задание

п. 75–76.

Урок 87. Релятивистский закон сложения скоростей

Цель: вывести релятивистский закон сложения скоростей.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение

- Какое время называют собственным?
- Чем определяется замедление времени: свойствами света, конструкцией световых часов или свойствами самого времени?
- Почему при движении замедляется не только ход часов, но и протекание всех физических процессов, а также химических реакций в человеческом организме?
- В чем суть «парадокса близнецов»?

– Какой эксперимент подтверждает эффект замедления времени?

III. Изучение нового материала

Опыт Майкельсона-Морли показал, что скорость света в вакууме постоянна и не зависит от скорости движения источника или приемника. Это означает, что преобразование Галилея и закон сложения скоростей неверен при скорости движения, соизмеримой со скоростью света.

Материальная часть (тело) не может двигаться с большей скоростью, чем скорость света.

Скорость тела, как относительно неподвижной системы отсчета X, так и относительно системы X', движущейся со скоростью υ:

$$\begin{cases} \upsilon_x << c \\ \upsilon'_x << c \end{cases}$$

Умножив на $\left(1-\frac{\upsilon}{c}\right)$ последнее, имеем $\upsilon'_x\left(1-\frac{\upsilon}{c}\right)\le c\left(1-\frac{\upsilon}{c}\right)$,

$\upsilon'_x-\frac{\upsilon'_x\cdot\upsilon}{c}<c-\upsilon$ или $\upsilon'_x+\upsilon\le c\left(1+\frac{\upsilon'_x\cdot\upsilon}{c^2}\right):\left(1+\frac{\upsilon'_x\cdot\upsilon}{c^2}\right)$,

$$\frac{\upsilon'_x+\upsilon}{1+\frac{\upsilon'_x\cdot\upsilon}{c^2}}\le C. \quad (1)$$

Пусть υ'_x и υ малы по сравнению со скоростью C:

$$\begin{cases} \upsilon'_x << C \\ \upsilon << C \end{cases}, \quad \frac{\upsilon'_x}{C}<<1, \quad \frac{\upsilon}{C}<<1;$$

$\frac{\upsilon_x\cdot\upsilon}{c^2}=\frac{\upsilon'_x}{c}\cdot\frac{\upsilon}{c}<<1$ (можно пренебречь). Тогда $\upsilon'_x+\upsilon\le C$.

В левой части фигурирует υ^o_x относительно неподвижной системы отсчета.

Относительно произвольных скоростей можно предположить, что левая часть неравенства (1) также представляет скорость υ_x.

Релятивистский закон сложения скоростей справедлив при любой скорости движения, т. е.:

$$d_x=\frac{\upsilon'_x+\upsilon}{1+\frac{\upsilon'_x\cdot\upsilon}{c^2}}.$$

IV. Решение задач

Задача № 1

Две ракеты движутся навстречу друг другу со скоростями $\frac{3}{4}$ с относительно неподвижного наблюдателя. Определить скорость сближения ракет.

Дано:

$\upsilon_1 = \upsilon_2 = \frac{3}{4}$ с;

$c = 3\cdot10^8$ м/с.

U – ?

Решение:

Свяжем с первой ракетой неподвижную систему координат K, относительно которой ракета движется со скоростью $\vec{\upsilon}_1$. Со второй ракетой свяжем систему K', движущуюся вдоль оси X со скоростью $\vec{\upsilon}_2$ относительно неподвижной системы K в направлении, противоположном оси 0X, то есть противоположно скорости $\vec{\upsilon}_1$. Тогда, используя релятивистский закон сложения скоростей, можно записать выражения для скорости в неподвижной системе координат:

$$\upsilon_1 = \frac{U - \upsilon_2}{1 - \frac{U\cdot\upsilon^2}{c^2}},$$

где U – относительная скорость ракет. (Проекция скорости $\vec{\upsilon}_2$ на ось X отрицательна, поэтому перед υ_2 в формуле поставлен знак минус.)

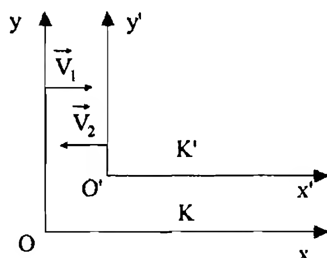


Рис. 87

Отсюда найдем относительную скорость ракет U:

$$\upsilon_1\cdot\left(1 - \frac{U\cdot\upsilon^2}{c^2}\right) = U - \upsilon^2 \Rightarrow \upsilon_1 - \upsilon_2\cdot\frac{U\cdot\upsilon^2}{c^2} = U - \upsilon_2;$$

$$U\cdot\left(1 + \frac{\upsilon_1\cdot\upsilon_2}{c^2}\right) = \upsilon_1 + \upsilon_2 \Rightarrow U = \frac{\upsilon_1 + \upsilon_2}{1 + \frac{\upsilon_1\cdot\upsilon_2}{c^2}};$$

$$U = \left[\frac{(м/с + м/с)\cdot(м/с)^2}{м/с\cdot м/с} = \frac{м}{с}\right]$$

$$U = \frac{\frac{3}{4}c + \frac{3}{4}c}{1 + \frac{\frac{3}{4}c\cdot\frac{3}{4}c}{c^2}} = \frac{\frac{6}{4}c}{1+\frac{9}{16}} = \frac{24}{25}c = 0{,}96\cdot c = 0{,}96\cdot 3\cdot 10^8 = 2{,}88\cdot 10^8 \text{ м/с}.$$

(*Ответ:* $U = 0{,}96c = 2{,}88\cdot 10^8$ м/с.)

Задача № 2

Две частицы удаляются друг от друга со скоростью 0,8 с относительно земного наблюдателя. Какова относительная скорость частиц? (*Ответ:* 0,978 с.)

Задача № 3

С космического корабля, движущегося к Земле со скоростью 0,4 с, посылают два сигнала: световой сигнал и пучок быстрых частиц, имеющих скорость относительно корабля – 0,8 с. В момент пуска сигналов корабль находился на расстоянии 12 Гм от земли. Какой из сигналов и на сколько раньше будет принят на Земле? (*Ответ:* Световой – на 4 с раньше.)

Домашнее задание

п. 79.

Р – 1078, Р – 1077.

Урок 88. Относительность времени

Цель: доказать, что время относительно.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Проверка домашнего задания

III. Повторение изученного

– Что показал эксперимент Майкельсона-Морли?
– Почему результаты эксперимента Майкельсона-Морли противоречили классическому закону скоростей?
– Что изучает специальная теория относительности и общая теория относительности?

– Сформулируйте первый и второй постулаты теории относительности и объясните их смысл.
– Почему существование черных дыр объясняется наличием верхнего предела скорости распространения любого взаимодействия?

IV. Изучение нового материала

Существование предельной скорости передачи взаимодействий вызывает необходимость глубокого изменения обычных представлений о пространстве и времени, основанных на повседневном опыте. Представление об абсолютном времени, которое течет раз и навсегда заданным темпом, совершенно независимо от материала и его движения, оказывается неправильным.

Если допустить мгновенное распространение сигналов, то утверждение, что события в двух раздельных точках А и В произошли одновременно, будет иметь абсолютный смысл. Поместить в точках А и В часы и синхронизировать. Если в точке А часы показывают 0 ч 30 мин и отправить сигнал в точку В тоже в 0 ч. 30 мин, то часы покажут одинаковое время, т. е. будут идти синхронно.

Только располагая в точке А и точке В синхронизированными часами, можно судить о том, произошли ли два события этих точках одновременно или нет. Как можно синхронизировать часы, находящиеся на некотором расстоянии друг от друга, если скорость распространения сигналов не бесконечно велика?

Такой способ используется для проверки часов по радио. Зная расстояние от радиостанции до дома, можно вычислить поправку на запаздывание сигнала. Эта поправка невелика, но при огромных космических расстояниях может оказаться весьма существенной.

Например, космонавт синхронизирует часы, находящиеся в разных концах корабля. Для этого с помощью источника, находящегося неподалеку относительно корабля и расположенного в середине, должна произойти вспышка. Если свет дошел одновременно до обоих часов, то они идут синхронно. Это относится к системе, связанной с кораблем.

В системе отсчета, относительно которой движется корабль, положение иное. Часы на носу корабля удаляются от того места, где произошла вспышка, свет преодолевает расстояние больше половины корабля. Напротив, на корме часы приближаются к месту вспышки, и путь оказывается меньше половины корабля. Наблюдатель придет к выводу – сигнал достигнет часов неодновременно. Часы будут идти неодинаково.

Выводы:

- Одновременность пространственно разделенных событий относительна.

- Причиной является конечность скорости распространения сигналов.

Домашнее задание

п. 77.

Дополнительный материал

Кризис классических представлений о пространстве и времени

Вначале вспомним, что концепция света Френеля включала признание существования эфира, заполняющего все пространство и проникающего во все тела, в котором распространялись световые волны. Концепция света Максвелла понятие эфира сделала не нужным. Несмотря на это, концепция эфира не сошла с арены физики. Дело заключалось в том, что уравнения электродинамики Максвелла были справедливыми в одной системе координат и несправедливыми в другой, движущейся прямолинейно и равномерно относительно первой. Классическая механика, исходившая из признания существования абсолютного времени, единого для всех систем отсчета и любых наблюдателей, признавала, что расстояние между двумя точками пространства должно иметь одно значение во всех системах координат, используемых для определения положения тел в пространстве (т. е. данное расстояние является инвариантом). Преобразование Галилея определяло преобразование координат при переходе от одной системы отсчета к другой. Иначе говоря, если, например, уравнения Ньютона были справедливыми в системе координат, связанной с неподвижными звездами, то они оказывались справедливыми и в других системах отсчета, которые двигались прямолинейно и равномерно относительно данных неподвижных звезд. Таким образом, получалось, что уравнения Максвелла справедливы только в одной системе отсчета, связанной с некоей средой, заполняющей всю вселенную. Вот эту среду и продолжали считать эфиром. Все различие с первоначальной трактовкой эфира заключалось в том, что если раньше под эфиром понимали особую упругую среду, которая была способна передавать световые колебания, то теперь эфиру стала отводиться роль абстракции, необходимой для фиксации тех систем отсчета, в которых справедливы уравнения Максвелла. Однако и данную роль эфир играть не мог.

Изучение световых явлений в движущейся системе координат предполагало определение скорости данной системы координат относительно эфира. Однако никому не удавалось в эксперименте обнаружить движение Земли относительно эфира, что находилось в противоречии с классической теорией. Знаменитый эксперимент Майкельсона-Морли (1887 г.) все сомнения полностью отверг и позволил окончательно отказаться от концепции эфира. Г.А. Лоренц попытался отрицательный результат эксперимента Майкельсона-Морли согласовать с существующими теориями, высказав предположение о том, что тела при своем движении относительно эфира сокращаются в размерах этого движения. Такой подход позволял сохранить концепцию эфира: эфир существует, он неподвижен, движение тела относительно эфира обна-

ружить невозможно, поскольку в направлении движения тело меняет свои размеры. Из уравнений Лоренца следовало, что все световые явления будут протекать одинаково в разных системах координат, поэтому по этим явлениям обнаружить абсолютное движение по отношению к эфиру невозможно. В свете этого отрицательный результат эксперимента Майкельсона-Морли выглядел вполне естественным, а точная связь наблюдателей, движущихся равномерно и прямолинейно друг относительно друга, выражалась не преобразованиями Галилея, а преобразованиями Лоренца. Понимание причин замены преобразований Галилея преобразованиями Лоренца и выяснение физических следствий этой замены потребовало пересмотра понятий пространства и времени.

Вспомним также, как развивались представления о пространстве и времени. Для аристотельской физики характерно представление о покое как естественном состоянии любого тела. Это значит, что в движение тело может прийти только под действием силы или импульса. Следствием такого представления был вывод о том, что тяжелые тела должны падать с большей скоростью, чем легкие, т. к. они сильнее притягиваются к Земле. В рамках этой традиции законы, которым подчинялась Вселенная, выводились умозрительно и не проверялись на опыте.

Галилей, заложивший начало современных представлений о законах движения тел, первым подверг сомнению представления аристотелевской физики. Скатывая по гладкому откосу шары разного веса, Галилей установил, что скорость увеличивается независимо от веса тела – на катящееся тело всегда действует одна и та же сила (вес тела), в результате чего скорость тела возрастала. Это означало, что приложенная к телу сила не просто заставляет это тело двигаться (как полагали до Галилея), а изменяет скорость тела. Ньютон на основе произведенных Галилеем измерений вывел законы движения. Первый закон: всякое тело пребывает в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения до тех пор, пока действующие на него силы не изменят это состояние. Второй закон: произведение массы тела на его ускорение равно действующей силе, а направление ускорения совпадает с направлением силы. Третий закон: действию всегда соответствует равное и противоположно направленное действие (иначе: действия двух тел друг на друга всегда равны по величине и направлены в противоположные стороны). Кроме этих законов Ньютоном открыт закон всемирного тяготения: всякое тело притягивает любое другое тело с силой, пропорциональной массам этих тел. Чем дальше находятся тела друг относительно друга, тем меньше сила взаимодействия. Гравитационная сила притяжения звезды составляет четвертую часть силы притяжения такой же звезды, расположенной на вдвое меньшем расстоянии. Даный закон позволяет с большой точностью вычислять орбиты планет.

Если для Аристотеля состояние покоя считалось предпочтительным (если на тело не действует какая-то сила), то из законов Ньютона следовало, что единого эталона покоя нет. Это значит, что можно считать тело A движущимся относительно покоящегося тела B и наоборот – считать тело B движущимся относительно покоящегося тела A. Отсюда следует, что невозможно определить, имели ли место два события в одной точке пространства,

если они произошли в разные моменты времени. Иначе говоря, никакому событию нельзя приписать абсолютного положения в пространстве (как считал Аристотель). Это вытекало из законов Ньютона. Но это противоречило идее абсолютного бога. Поэтому Ньютон не признавал отсутствия абсолютного пространства, т.е. того, что следовало из открытых законов.

Общим для Аристотеля и Ньютона было признание абсолютного времени – оба полагали, что время между двумя событиями можно измерить однозначно и что результат не зависит от того, кто осуществляет измерения, лишь бы были в наличии у измеряющего правильные часы. Время считалось полностью отделенным от пространства и не зависящим от него.

В 1676 г., за одиннадцать лет до выхода «Математических начал натуральной философии» Ньютона, датский астроном О.Х. Ремер установил, что свет распространяется с конечной, хотя и очень большой скоростью. Но лишь Д.К. Максвеллу – создателю классической электродинамики – удалось объединить две частные теории, описывавшие электрические и магнитные силы. Согласно сформулированным Максвеллом уравнениям, описывающим электромагнитные явления в произвольных средах и в вакууме, в электромагнитном поле могут существовать распространяющиеся с постоянной скоростью волны (радиоволны с длиной метр и более, волны сверхвысокочастотного диапазона с длиной порядка сантиметра, волны инфракрасного диапазона с длиной до десяти тысячных сантиметра, волны видимого сектора с длиной сорок – восемьдесят миллионных долей сантиметра, волны ультрафиолетового, рентгеновского и гамма-излучения с длиной волны еще более короткой.

Из теории Максвелла вытекало, что радиоволны и свет имеют фиксированную скорость распространения. Но поскольку после появления теории Ньютона представления об абсолютном покое ушли в прошлое, возник вопрос: относительно чего измерять скорость. Для этого было введено понятие эфира – особой субстанции, заполнявшей пространство. Стали считать, что световые волны распространяются в эфире (как звуковые в воздухе), а скорость распространения определяется относительно эфира. Наблюдатели, движущиеся относительно эфира с разными скоростями, должны были видеть, что свет к ним идет с разной скоростью, но скорость света относительно эфира должна оставаться неизменной. Это означало, что при движении Земли в эфире по своей орбите вокруг Солнца скорость света в направлении движения в сторону источника света должна быть выше по сравнению со скоростью света при условии отсутствия движения к источнику света. Однако опыт, поставленный А. Майкельсоном и Э. Морли в 1887 г., в котором они сравнивали скорость света, измеренную в направлении движения Земли, со скоростью, измеренной в перпендикулярном этому направлению движения, показал, что обе скорости одинаковы. Датский физик Х. Лоренц результат эксперимента Майкельсона-Морли объяснял тем, что все движущиеся в эфире объекты сокращаются в размерах, а часы замедляют свой ход.

Следующий шаг сделал А. Энштейн созданием специальной теории относительности, из которой вытекало, что при условии отказа от понятия абсолютного времени нет никакой надобности в эфире. (Чуть позже аналогичную позицию высказал и А. Пуанкаре.)

Урок 89. Замедление времени

Цели: изучить факт замедления времени; отрабатывать навыки решения задач.

Ход урока

I. Проверка домашнего задання, повторение

- Почему результаты эксперимента Майкельсона-Морли противоречат классическому закону сложения скоростей?
- Почему осуществление событий в нашем чувственном восприятии не означает их одновременности?
- Почему, глядя на звездное небо, мы как бы зондируем прошлое?
- Будет ли определенным порядок следования событий, если разделяющий их промежуток времени больше времени, необходимого для распространения света между ними.

II. Изучение нового материала

Согласно классическим представлениям, течение времени абсолютно. Предполагалось, что движущие часы не изменяют своего ритма.

Наблюдения световых явлений показывают, что движущиеся часы изменяют свой ритм.

Пульт космического корабля, движущегося со скоростью υ может измерять время по часам, покоящимся относительно корабля.

Время t' называется собственным временем. Собственное время – время, измеренное наблюдателем, движущимся вместе с часами.

Время в неподвижной системе отсчета и движущееся относительно нее, течет с разной скоростью:

$$t \neq t'.$$

$t = \dfrac{t'}{\sqrt{1-\dfrac{\upsilon^2}{c^2}}}$ – время неподвижного наблюдения.

Явление замедления времени обнаруживается экспериментально, при наблюдении распада нестабильных элементарных частиц, таких как мюон, n-мезон. Среднее время жизни мюона, т. е. время между рождением мюона и его распадом, в системе покоя в среднем $\tau_0 = 2{,}2\cdot 10^{-6}$ с (t'). Чем быстрее движется мюон относительно лабораторной системы, тем больше время его жизни.

Если бы удалось макроскопическому типу сообщить скорость, близкую к скорости света, то космонавт, стартовавший с Земли и проведший в космосе по часам ракеты 1 год, с точки зрения обитате-

лей Земли провел в космосе, скажем, 10 лет. В то время как на Земле пройдет 10 лет и люди постареют на 10 лет, на ракете пройдет 1 год и космонавт постареет только на 1 год.

III. Решение задач

Задача № 1

Ракета движется относительно неподвижного наблюдателя со скоростью, равной 0,6 скорости света в вакууме. Какое время пройдет по часам неподвижного наблюдателя, если по часам, движущимся вместе с ракетой, прошло 6 лет?

Дано:	Решение:
$\upsilon = 0{,}6\ c$; $\tau_0 = 6$ лет; $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.	Время, прошедшее по часам неподвижного наблюдателя, найдем по формуле $\tau = \dfrac{\tau_0}{\sqrt{1 - \dfrac{\upsilon^2}{c^2}}}$,
$\tau - ?$	

где τ_0 – собственность время; υ – скорость ракеты относительно неподвижного наблюдателя.

В данной задаче время τ_0 можно не выражать в секундах, а оставить в годах $\tau = \dfrac{6}{\sqrt{1 - \dfrac{0{,}6 \cdot c^2}{c^2}}} = \dfrac{6}{\sqrt{1 - 0{,}6^2}} = 7{,}5$ лет.

(*Ответ:* $\tau = 7{,}5$ лет.)

Задача № 2

Какой промежуток времени пройдет на звездолете, движущемся относительно Земли со скоростью, равной 0,4 скорости света, за 25 земных лет?

Дано:	Решение:
$\upsilon = 0{,}4\ c$; $\tau = 25$ лет; $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.	Приведенные в задаче данные относятся к системе отсчета, связанной с землей, – скорость корабля υ и промежуток времени τ.
$\tau_0 - ?$	Необходимо найти промежуток собственного времени τ_0, в системе, связанной со звездолетом.

Так как промежуток собственного времени связан с промежутком времени τ, отсчитанным по земным часам, соотношением:

$\tau = \dfrac{\tau_0}{\sqrt{1 - \dfrac{\upsilon^2}{c^2}}}$, то отсюда $\tau_0 = \tau \cdot \sqrt{1 - \dfrac{\upsilon^2}{c^2}}$;

$$\tau_0 = 25 \cdot \sqrt{1 - \frac{0,4c^2}{c^2}} = 25 \cdot \sqrt{1 - 0,4^2} \approx 23 \text{ года.}$$

(*Ответ:* 23 года.)

IV. Подведение итогов урока

Домашняя работа

п. 78.

Р – 1081; Р – 1082.

Урок 90. Взаимосвязь массы и энергии

Цель: показать взаимосвязь между массой и энергией.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Проверка домашнего задания, повторение

– Почему преобразование Галилея и классический закон сложения скоростей не верен при движениях, соизмеримых со скоростями света?
– Сформулируйте релятивистский закон сложения скоростей.
– Укажите границы применимости классического закона сложения скоростей.
– Как релятивистский закон сложения скоростей согласуется с результатами эксперимента Майкельсона-Морли?

III. Изучение нового материала

Покоящееся тело имеет определенную массу, которую называют массой покоя m_0.

Зависимость массы тела от скорости:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{\upsilon^2}{c^2}}}.$$

Найдем зависимость скорости от массы при $\upsilon << c$.

Знаменатель можно записать в виде:

$$\sqrt{1 - \frac{\upsilon^2}{c^2}} = \sqrt{1 - \left(\frac{1\upsilon^2}{2c^2}\right)^2 - \frac{1}{4}\frac{\upsilon^4}{c^4}}.$$

Пренебрегая $\frac{1}{4}\frac{\upsilon^4}{c^4}$, малая величина:

$$\sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}} \approx 1-\frac{1}{2}\frac{\upsilon^2}{c^2};$$

$$m = \frac{m_0}{1-\frac{1}{2}\frac{\upsilon^2}{c^2}}.$$

Умножив числитель и знаменатель на $1+\frac{1}{2}\frac{\upsilon^2}{c^2}$ и снова пренебрегая членом $\frac{1}{4}\frac{\upsilon^4}{c^4}$, приходим к $m = m_0 + \frac{1}{2}m_0\upsilon^2\frac{1}{c^2} \Rightarrow \Delta m = m - m_0$.

При увеличении кинетической энергии $\Delta E = \frac{1}{2}m_0\upsilon^2$ выражается:

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}.$$

Если изменяется энергия системы, то изменяется и ее масса.

При химических реакциях или нагревании тел в обычных условиях изменение энергии настолько мало, что соответствующее изменение массы не удается обнаружить на опыте. Лишь при превращениях атомных ядер и элементарных частиц изменение энергии оказываются настолько большими, что и связанное с ними изменение массы уже заметно.

Классическая теория разделяет и определяет два различных вида материи: вещество и поле. Необходимым атрибутом вещества является масса, а поля – энергия. Существуют закон сохранения массы и закон сохранения энергии.

Согласно теории относительности нет существенного различия между массой и энергией. Вещество имеет массу и обладает энергией, поле имеет энергию и обладает массой.

Вместо двух законов есть один закон сохранения массы – энергии.

Излучение Солнца и звезд имеют энергию и, значит, массу. Излучая энергию, Солнце и звезды теряют массу:

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}.$$

Поэтому раскаленный образец вещества имеет большую массу, чем холодный, но это изменение практически невозможно обнаружить даже на очень чувствительных весах из-за большой величины c^2.

IV. Решение задач

Задача 1

Электрон движется со скоростью 0,8 скорости света. Определить: массу электрона, энергию покоя электрона (в джоулях, электрон – в вольтах), полную энергию электрона, кинетическую энергию электрона.

Дано:	**Решение:**
$\upsilon = 0{,}8$ с; $m_0 = 9{,}1\cdot10^{-31}$ кг; $c = 3\cdot10^8$ м/с.	Энергию покоя электрона найдем по формуле Эйнштейна $E_0 = m_0 c^2$, где m_0 – масса покоя электрона, величина постоянная.
E_c – ? m – ? E – ? E_k – ?	$$E_0 = \left[кг\cdot\frac{м^2}{с^2} = Н\cdot м = Дж \right].$$

Масса движущегося электрона зависит от скорости движения и связана соотношением $m = \dfrac{m_0}{\sqrt{1-\dfrac{\upsilon^2}{c^2}}}$.

Полная энергия электрона $E = mc^2 = \dfrac{m_0 c^2}{\sqrt{1-\dfrac{\upsilon^2}{c^2}}}$.

Полная энергия также равна сумме энергий покоя и кинетической энергии движения: $E = E_0 + E_k$, отсюда найдем кинетическую энергию электрона: $E_k = E + E_0$. Вычислим эти величины:

$E_0 = 9{,}1\cdot10^{-31}\cdot3^2(10^8)^2 = 81{,}9\cdot10^{-31+16} = 8{,}19\cdot10^{-14}$ Дж. Выразим энергию электрона в электрон-вольтах, учитывая, что 1 эВ = $1{,}6\cdot10^{-19}$ Дж.

$$E_0 = \frac{8{,}19\cdot10^{-14}}{1{,}6\cdot10^{-19}} \approx 5{,}12\cdot10^5 \approx 0{,}512\cdot10^6 \text{ эВ}.$$

Масса движущегося электрона:

$$m = \frac{9{,}1\cdot10^{-31}}{\sqrt{1-\dfrac{0{,}8c^2}{c^2}}} = \frac{9{,}1\cdot10^{-31}}{\sqrt{1-0{,}8^2}} \approx 15{,}2\cdot10^{-31} \approx 1{,}52\cdot10^{-30} \text{ кг}.$$

Полная энергия электрона:

$E \approx 1{,}52\cdot10^{-30}\cdot(3\cdot10^8)^2 \approx 13{,}68\cdot10^{-14} \approx 13{,}7\cdot10^{-14}$ Дж.

Кинетическая энергия электрона:

$E_k \approx 13{,}7 \cdot 10^{-14} - 8{,}19 \cdot 10^{-14} \approx 5{,}49 \cdot 10^{-14} \approx 5{,}5 \cdot 10^{-14}$ Дж.

(*Ответ:* $E_0 \approx 8{,}2 \cdot 10^{-14}$ Дж = 0,52 МэВ; $m = 1{,}52 \cdot 10^{-30}$ кг;

$E \approx 13{,}7 \cdot 10^{-14}$ Дж; $E_k \approx 5{,}5 \cdot 10^{-14}$ Дж.)

Задача № 2

Чайник с 2 кг воды нагрели от 10°С до кипения. На сколько изменилась масса воды? (*Ответ:* увеличилась на $8{,}4 \cdot 10^{-12}$ кг.)

Задача № 3

На сколько изменяется масса 1 кг льда при плавлении? (*Ответ:* увеличивается на $8{,}4 \cdot 10^{-12}$ кг.)

Задача № 4

На сколько отличается масса покоя продуктов сгорания 1 кг каменного угля от массы покоя веществ, вступающих в реакцию? (*Ответ:* масса покоя продуктов сгорания на $3{,}2 \cdot 10^{-10}$ кг меньше.)

Задача № 5

Найти кинетическую энергию электрона (в МэВ), движущегося со скоростью 0,6 с. (*Ответ:* 0,128 МэВ.)

V. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 80.

Р – 1087; Р – 1989.

Урок 91. Контрольная работа по теме: «Релятивистская механика»

Цель: выявить знания учащихся по теме «Релятивистская механика».

Ход урока

Вариант I

1. Если элементарная частица движется со скоростью света, то …
   А. Масса покоя частиц равна нулю.
   Б. Частица обладает электрическим зарядом.
   В. На частицу не действует гравитационное поле.
   Г. Частица не может распадаться на другие.
   Д. Частица может увеличить свою скорость.

2. Ион, обладающий скоростью 0,6 с, испускает фотон в направлении, противоположном скорости движения иона. Какова скорость фотона относительно иона?

А. 0,6 с.
Б. 1 с.
В. 0,8 с.
Г. 0,4 с.
Д. 1,6 с.

3. С космического корабля, удаляющегося от Земли со скоростью 0,75 с, стартует ракета в направлении движения корабля. Скорость ракеты относительно Земли – 0,96 с. Какова скорость ракеты относительно корабля?

А. 0,7 с.
Б. 0,75 с.
В. 0,8 с.
Г. 0,85 с.
Д. 0,96 с.

4. С какой скоростью должна лететь ракета, чтобы время в ней замедлялось в 3 раза?

А. $2,77 \cdot 10^8$ м/с.
Б. $2,8 \cdot 10^8$ м/с.
В. $2,83 \cdot 10^8$ м/с.
Г. $2,89 \cdot 10^8$ м/с.
Д. $2,96 \cdot 10^8$ м/с.

5. Внешнее электрическое поле совершает работу 0,26 v"d по ускорению электрона. С какой скоростью будет двигаться электрон, если его начальная скорость 0,5 с?

А. 0,6 с.
Б. 0,7 с.
В. 0,75 с.
Г. 0,8 с.
Д. 0,85 с.

Вариант II

1. Ион, получивший в ускорителе скорость υ = 0,8 м, испускает фотон в направлении своего движения. Какова скорость фотона относительно иона?

А. 1,8 · с.
Б. 0,2 · с.
В. с.
Г. 0,9 · с.
Д. 0,4 · с.

2. Два лазерных импульса излучаются в вакууме навстречу друг другу. С какой скоростью они распространяются относительно друг друга?

А. 2 · с.
Б. с.
В. 0,5 · с.
Г. 1,5 · с.
Д. 0,75 · с.

3. Две галактики разбегаются от центра Вселенной в противоположных направлениях с одинаковыми скоростями 0,8 с относительно центра. С какой скоростью они удаляются друг от друга?

А. 0,97 с.
Б. 0,972 с.
В. 0,974 с.
Г. 0,976 с.
Д. 0,09 с.

4. Ракета движется со скоростью 0,968 с. Во сколько раз время, измеренное в ракете, отличается от времени, измеренного по неподвижным часам?

А. 5 раз.
Б. 4 раза.
В. 3 раза.
Г. 2 раза.
Д. 1,5 раза.

5. Какую работу (в МэВ) надо совершить для увеличения скорости электрона от 0,7 с до 0,9 с?

А. 0,46 мЭВ.
Б. 0,5 мЭВ.
В. 0,54 мЭВ.
Г. 0,6 мЭВ.
Д. 0,66 мЭВ.

Ответы к контрольной работе:

	Номер вопроса и ответ				
	1	2	3	4	5
Вариант 1	А	Б	Б	В	Г
Вариант 2	В	Б	Г	Б	А

Глава 10. Излучение и спектры

Урок 92. Виды излучений. Источники света

Цель: познакомить учащихся с видами излучений.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Изучение нового материала

Свет – это электромагнитные волны с длиной волны $4 \cdot 10^{-7}$ м и $8 \cdot 10^{-7}$ м. Электромагнитные волны излучаются при условии ускоренного движения частиц. Эти заряженные частицы входят в состав атомов, из которых состоит вещество. Внутри атома нет света. Для того чтобы атом начал излучать, ему необходимо передать энергию. Излучая, атом теряет полученную энергию и для свечения вещества необходим приток энергии к атомам извне.

Тепловое излучение

При столкновении быстрых атомов (или молекул) друг с другом часть их кинетической энергии превращается в энергию возбуждения атомов, которые затем излучают свет (Солнце, лампа накаливания, пламя и др.).

Электролюминесценция

При разряде в газе электрическое поле увеличивает E_k электронов. Быстрые электроны возбуждают атомы в результате неупругого соударения с ними. Возбужденные атомы отдают энергию в виде световых волн (трубки для рекламных надписей, северное сияние и другие).

Катодолюминесценция

Свечение твердых тел, вызванное бомбардировкой этих тел электронами (электронно-лучевые трубки телевизоров).

Хемилюминесценция

Электроны возбуждаются от химических реакций (светлячки и другие живые организмы, бактерии, насекомые, многие рыбы).

Фотолюминесценция

Падающий на вещество свет возбуждает атомы вещества, после чего они излучают свет (светящиеся краски).

Эксперимент 1

Изготовление борного люминофора. В воде растворяют хвойный концентрат. На пластинку из металла насыпают чайную ложку борной кислоты. В нее вводят раствор хвойного концентрата, пока раствор не превратится в кашицу. Затем пластинку нагревают на электрической плитке, при этом вода испаряется. Состав нагревают до плавления. После остывания люминофор готов.

Эксперимент 2

Флуоресцирующие жидкости.

Стеклянную кювету наполнить чистой водой и посмотреть на нее сбоку – луч в воде не виден. Если воду заменить керосином, то внутри кюветы просматривается синевато-белесая полоса. Причина – флуоресценция керосина. Это можно наблюдать в шампуне «Яблочный» и «Сосна».

Зависимость излучения накаленных тел от температуры

Излучение накаленных тел очень сильно зависит от температуры. С повышением температуры общее количество излучаемой энергии заметно увеличивается, но наиболее быстро нарастает интенсивность видимых лучей.

III. Закрепление изученного

- В чем проявляется тепловое действие света?
- Что называется люминесценцией?
- Дайте объяснение двум видам люминесценции – флуоресценции и фосфоресценции.

IV. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 81.

Урок 93. Лабораторная работа по теме: «Использование зависимости мощности теплового излучения тела от его температуры»

Цели: установить экспериментально закон зависимости одного параметра от другого в физическом процессе; исследовать зависимость мощности излучения нагретого тела от температуры.

Ход урока

Порядок выполнения

1. Используя омметр, измерьте электрическое сопротивление R

нити лампы при комнатной температуре. При измерении учтите влияние соединительных проводов на результаты измерения. Для этого, после измерения электрического сопротивления нити лампы соедините концы проводов, соединяющих омметр с вводами лампы, и снимите показания омметра. Для нахождения сопротивления R_l нужно вычесть из полученного в первом измерении значения общего сопротивления $R_{об}$ проводов и нити лампы значение сопротивления проводов $R_{пр}$, полученное во втором измерении:

$$R_1 = R_{об} - \mathrm{R}_{пр}$$

2. Используя формулу $R_1 = R_0(1-\alpha t)$ вычислите $R_0 = \dfrac{R_1}{1+\alpha t}$,

где t – температура воздуха в комнате, $\alpha = 5 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{K}^{-1}$.

3. Соберите электрическую цепь из лампы, источника постоянного тока, вольтметра и амперметра (см. рис. 88).

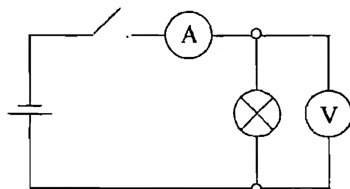


Рис. 88

Подайте на лампу напряжение с двух последовательно соединенных гальванических элементов или 3 вольта с выхода источника постоянного тока.

Измерьте силу тока I в цепи и напряжение U на лампе. Результаты занесите в таблицу:

U, В	I, А	P, Вт	R_t, Ом	T, к

4. Повторите измерения, используя 3, 4 и 5 последовательно соединенных элементов. Результаты занесите в таблицу.

5. Мощность P должна увеличиваться с увеличением абсолютной температуры нити. Предположим, что эта зависимость выражается формулой:

$$P = \alpha \mathrm{T}^n,$$

где n – целое число.

Вычислите:

$$\frac{P}{T};\ \frac{P}{T^2};\ \frac{P}{T^3};\ \frac{P}{T^4};\ \frac{P}{T^5}.$$

6. Постройте график зависимостей отношения $\frac{P}{T^n}$ от T для разных значений n. Если для одного из значений n график будет горизонтальной прямой, то предположение о связи мощности излучения P с температурой T по закону $P = \alpha T^n$ для данного n окажется экспериментально подтвержденным.

Контрольные вопросы:

1. Каким образом в данной работе определяется температура нити?
2. Каким образом определялась мощность теплового излучения нити лампы?
3. С какой целью строился график зависимости отношения $\frac{P}{T^n}$ от T при различных значениях n?
4. Близки ли полученные вами результаты эксперимента к результатам исследований Стефана и Больцмана?

Урок 94. Спектры и спектральный анализ

Цель: показать практическую значимость спектрального анализа.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Изучение нового материала

Слово «спектр» в физику ввел Ньютон, использовавший его в своих научных трудах. В переводе с классической латыни слово «спектр» означает «дух», «приведение», что довольно точно отражает суть явления – возникновение праздничной радуги при прохождении бесцветного солнечного света через прозрачную призму.

Все источники не дают свет строго определенной длины волны. Распределение излучения по частотам характеризуется спектральной плотностью интенсивности излучения.

Типы спектров

Спектры испускания

Совокупность частот (или длин волн), которые содержатся в излучении какого-либо вещества, называют спектром испускания. Они бывают трех видов.

Сплошной – это спектр, содержащий все длины волны определенного диапазона от красного с $\gamma_к = 7{,}6 \cdot 10^{-7}$ и до фиолетового $\gamma_ф = 4 \cdot 10^{-7}$ м. Сплошной спектр излучают нагретые твердые и жидкие вещества, газы, нагретые под большим давлением.

Линейчатый – это спектр, испускаемый газами, парами малой плотности в атомарном состоянии. Состоит из отдельных линий разного или одного цвета, имеющих разные расположения. Каждый атом излучает набор электромагнитных волн определенных частот. Поэтому каждый химический элемент имеет свой спектр.

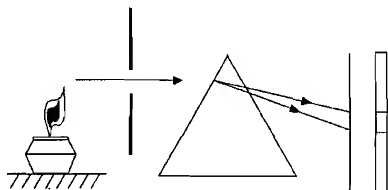


Рис. 89

Полосатый – это спектр, который испускается газом в молекулярном состоянии.

Линейчатые и полосатые спектры можно получить путем нагрева вещества или пропускания электрического тока.

Спектры поглощения

Спектры поглощения получают, пропуская свет от источника, дающего сплошной спектр, через вещество, атомы которого находятся в невозбужденном состоянии.

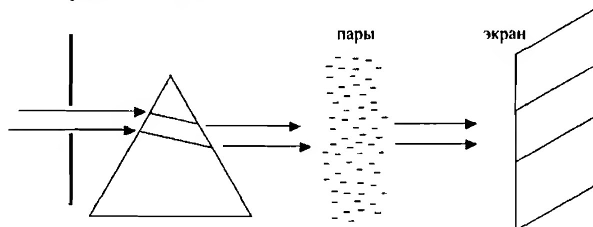


Рис. 90

Спектр поглощения – это совокупность частот, поглощаемых данным веществом. Согласно закону Кирхгофа, вещество поглощает те линии спектра, которые и испускает, являясь источником света.

Открытие спектрального анализа вызвало живой интерес даже у публики, далекой от науки, что по тем временам случалось весьма не часто. Как всегда в таких случаях, досужие любители отыскали множество других ученых, которые якобы все сделали задолго до Кирхгофа и Бунзена. В отличие от множества своих предшественников, Кирхгоф и Бунзен сразу же поняли значение своего открытия.

Они впервые отчетливо уяснили себе (и убедили в этом других), что спектральные линии – это характеристика атомов вещества.

После открытия Кирхгофа и Бунзена 18 августа 1868 г. французский астроном Пьер-Жюль-Сезар Жансен (1824–1907) во время солнечного затмения в Индии наблюдал в спектре солнечной короны желтую линию неизвестной природы. Два месяца спустя английский физик Джозеф Норманн Локьер (1836–1920) научился наблюдать корону Солнца не дожидаясь солнечных затмений и при этом обнаружил в ее спектре ту же желтую линию. Неизвестный элемент, который его испускал, он назвал гелием, т. е. солнечным элементом.

Оба ученых написали о своем открытии письма во Французскую академию наук, оба письма пришли одновременно и были зачитаны на заседании Академии 26 октября 1868 г. Такое совпадение поразило академиков, и они решили в честь этого события выбить памятную золотую медаль – с одной стороны профиль Жансена и Локьера, с другой – бог Апполон на колеснице и надпись: «Анализ солнечных протуберанцев».

На Земле гелий был открыт в 1895 г. Уильямом Рамзаем в минералах тория.

Исследования спектров испускания и поглощения позволяет установить качественный состав вещества. Количественное содержание элемента в соединении определяется путем измерения яркости спектральных линий.

Метод определения качественного и количественного состава вещества по его спектру называется спектральным анализом. Зная длины волн, испускаемых различными парами, можно установить наличие тех или иных элементов вещества. Этот метод очень чувствительный. Можно обнаружить элемент, масса которого не превышает 10^{-10} г. Спектральный анализ сыграл большую роль в науке. С его помощью был изучен состав звезд.

Благодаря сравнительной простоте и универсальности, спектральный анализ является основным методом контроля состава вещества в металлургии и машиностроении. С помощью спектрального анализа определяют химический состав руд и минералов. Спектральный анализ можно проводить как по спектрам поглощения, так и по спектрам испускания. Состав сложных смесей анализируется по молекулярному спектру.

III. Закрепление изученного материала

- Линейчатые спектры излучения дают возбужденные атомы, которые не взаимодействуют между собой. Какие тела имеют линейчатый спектр излучения? (*Сильно разряженные газы и ненасыщенные пары.*)

- Какой спектр дают раскаленные добела металлы, расплавленный металл? (*Сплошной.*)
- Какой спектр можно наблюдать с помощью спектроскопа от раскаленной спирали электрической лампы? (*Сплошной.*)
- В какой агрегатном состоянии в лабораториях спектрального анализа исследуют любое вещество для определения его элементарного состава? (*В газообразном.*)
- Почему в спектре поглощения одного и того же химического элемента темные линии точно расположены в местах цветных линий линейчатого спектра излучения? (*Атомы каждого химического элемента поглощают только те лучи спектра, которые они сами излучают.*)
- Что определяется по линиям поглощения солнечного спектра? (*Химический состав атмосферы Солнца.*)

Домашнее задание

п. 81–84.

Урок 95. Лабораторная работа по теме «Наблюдение сплошного и линейчатого спектров»

Оборудование: проекционный аппарат; спектральные трубки с водородом, неоном или гелием; высоковольтный индуктор; источник питания; штатив; соединительные провода (эти приборы являются общими для всего класса); стеклянная пластина со скошенными гранями (выдается каждому).

Ход урока

I. Проведение эксперимента

1. Расположите пластину горизонтально перед глазом. Сквозь грани, составляющие угол 45°, наблюдайте светлую вертикальную полоску на экране – изображение раздвижной щели проекционного аппарата.

2. Выделите основные цвета полученного сплошного спектра и запишите их в наблюдаемой последовательности.

3. Повторите опыт, рассматривая полоску через грани, образующие угол 60°. Запишите различия в виде спектров.

4. Наблюдайте линейчатые спектры водорода, гелия или неона, рассматривая светящиеся спектральные трубки сквозь грани стеклянной пластины. Запишите наиболее яркие линии спектров.

Домашнее задание

п. 81–84.

Урок 96. Инфракрасное и ультрафиолетовое излучение

Цель: расширить знания об электромагнитных волнах.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение

- Какой спектр дают тела, состоящие из невзаимодействующих между собой возбужденных молекул? (*Полосчатые.*)
- Чем отличаются линейчатые спектры излучения различных химических элементов? (*Количеством, расположением и цветом линий.*)
- Для определения химического состава вещества необходимо с помощью спектрометра исследовать спектр излучения и сравнить его с каталогом спектров излучения химических элементов. Что для этого нужно сделать с небольшой частью вещества? (*Нагреть, расплавить и испарить.*)
- Продолжите предложение: «По спектральному закону Кирхгофа атомы каждого химического элемента поглощают только те лучи спектра, которые ...» (*они сами излучают.*)
- Чем отличаются спектры излучения меди и стали, нагретых до 1000 °С? (*Практически не отличаются друг от друга и являются сплошными.*)
- По каким спектрам можно производить спектральный анализ? (*По линейчатым, поглощения и испускания.*)
- Какой химический элемент впервые был открыт благодаря спектральному анализу? (*Гелий.*)
- Что определяют измеряя интенсивность спектральных линий элемента? (*Количество данного элемента в исследуемой пробе.*)

III. Изучение нового материала

Некоторые электромагнитные волны ранее не изучались. Но эти волны окружают человека и имеют для него важное значение.

Инфракрасное излучение или тепловое

Эксперимент

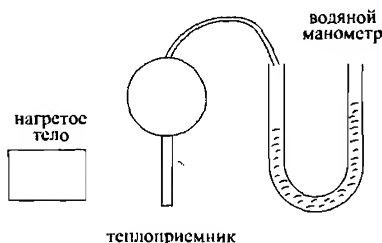


Рис. 91

1. Будем изменять расстояние от источника излучения до приемника.

Вопрос: Изменяется ли интенсивность излучения по мере удаления от источника?

2. Пометите между приемником излучения и источником излучения лист бумаги.

Вопрос: Пропускает ли бумага инфракрасное излучение?

3. Поочередно поместите лист станиоля и лист бумаги между источником излучения и приемником.

Вопрос: Какой предмет лучше пропускает инфракрасное излучение?

Ультрафиолетовое излучение

Соберем установку (см. рис. 92):

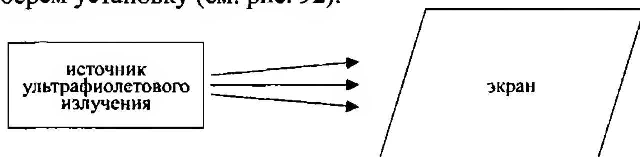


Рис. 92

1. Осветим люминесцентный экран.

Экран будет светиться.

2. Поместим между экраном и источником ультрафиолетового излучения стекло.

Стекло не пропускает ультрафиолетовое излучение. Кроме этого, ультрафиолетовое излучение ионизирует воздух, отражается металлами, имеет высокую химическую активность (фотобумага).

Волны, имеющие большую длину, чем красные, принято называть инфракрасными. Они были открыты Генмелем (1738–1822), астрономом и физиком, в 1800 г. при исследовании распределения энергии в спектре с помощью очень чувствительного термометра.

Ультрафиолетовое излучение было обнаружено английским физиком Волластоном (1766–1828) в 1801 г.

IV. Закрепленне изученного материала

- Какие лучи называются инфракрасными?
- Какие лучи называются ультрафиолетовыми?
- Перечислите свойства инфракрасного и ультрафиолетового излучения.
- Каковы их свойства?
- Где они применяются в технике и в быту?
- Кем и когда были открыты?

V. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 85.

Урок 97. Рентгеновские лучи

Цель: познакомить учащихся с рентгеновскими лучами, показать их практическое применение.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Изучение нового материала

В 1901 г. Нобелевский комитет Шведской академии наук избрал Рентгена первым лауреатом Нобелевской премии. Именно с работы Рентгена началась цепь блистательных открытий, которую Резерфорд назвал героическим периодом в истории физики, плоды которого мы сейчас пожинаем.

Ко времени открытия Рентгену было 50 лет. Он вел размеренную жизнь немецкого профессора, отличался строгостью суждений и независимостью взглядов. Он был учеником Рудольфа Клаузиуса, а также известного физика-экспериментатора Августа Адольфа Кундта, школу которого прошли также знаменитые русские физики – Петр Николаевич Лебедев и Борис Борисович Голицын.

К 1895 г. Рентген был автором 50 научных работ, а его экспериментаторский талант был общепризнан.

Во времена Рентгена знаменитая трубка Гейсмера была известна уже более 40 лет, с ней работали самые выдающиеся физики XIX столетия, и все же природа катодных лучей оставалась невыясненной. Рентген также не оставался к ней равнодушен и проводил опыты. Как и сотни исследователей, наблюдал красивое желто-зеленое свечение, которое возникало в месте падения катодных лучей на стенку трубы, отклонение этого пятна под действием магнитного поля и т. д.

Так продолжалось до вечера 8 ноября 1895 г., когда Рентген вдруг заметил свечение полоски бумаги, покрытой флуоресцирующей солью бария, которая лежала в стороне от работающей трубки Крукса. Более того, трубка была в это время закрыта непрозрачным картонным футляром. Рентген не оставил без внимания это случайное наблюдение: он был достаточно зрелым и опытным исследователем, чтобы сразу понять значение своего открытия.

Последовало пять недель напряженного труда, в течение которых он велел приносить ему пищу в лабораторию и даже перенес туда свою кровать.

К концу декабря Рентген знал уже все основные свойства открытых им Х-лучей (так он их назвал), включая их значение для медицины.

22 декабря 1895 г. можно считать началом флюорографии: снимок левой руки госпожи Рентген, полученный в этот день, вошел впоследствии во все книги по рентгеновским лучам.

28 декабря Рентген доложил о результатах своих исследований Физическому обществу и отправил статью с описанием свойств Х-лучей в научный журнал. Кроме того, по обычаю тех лет, он написал письмо во Французскую академию наук.

Открытие Рентгена вызвало беспрецедентный и повсеместный интерес среди ученых и широкой публики: достаточно сказать, что статью Рентгена в течение нескольких недель издавали пять раз отдельной брошюрой и перевели на несколько языков. Только в течение 1896 г. было опубликовано свыше 1000 научных работ и около 50 книг, посвященных изучению Х-лучей, а в медицине Х-лучи стали использовать уже через несколько недель.

Публичные показы нового явления проводились повсеместно, на них ходили как в театр, при виде человеческих костей на экране в публике случались истерики и обмороки.

В мае 1896 г. знаменитый Эдисон построил в Нью-Йорке демонстрационный аппарат, который позволял каждому посетителю увидеть тень от своей руки. Этот опыт окончился трагически: демонстратор Эдисона умер от тяжелых ожогов. Вероятно, и для самого Рентгена работа с Х-лучами не прошла бесследно: четверть века спустя он умер от рака.

Способ получения рентгеновских лучей ясно указывает, что образование их связано с остановкой (или торможением) быстро летящего электрона. Летящий электрон окружен электрическими и магнитными полями, ибо движущийся электрон представляет собой ток.

Остановка (торможение) электрона означает изменение магнитного поля вокруг него, изменение магнитного или электрического поля вызывает излучение электромагнитных волн. Эти электромагнитные волны и наблюдаются в виде рентгеновских лучей. Для установления волновой природы рентгеновских лучей необходимо было произвести опыты по их интерференции или дифракции. Однако осуществить такие опыты оказалось очень трудной задачей.

Эту задачу решил немецкий физик Макс Лауэ (1879–1960). В 1912 г. в качестве дифракционной решетки для опыта он использо-

вал естественный кристалл, в котором атомы расположены в правильном порядке.

III. Закрепление изученного материала

- Кем и когда впервые сделано открытие рентгеновских лучей?
- Каковы их свойства?
- Где они применяются в технике и быту?

Домашнее задание

п. 86.

Дополнительный материал

Рентген Вильгельм Конрад

Вильгельм Конрад Рентген родился 17 марта 1845 г. в пограничной с Голландией области Германии, в г. Леиепе. Он получил техническое образование в Цюрихе в той самой Высшей технической школе (политехникуме), в которой позже учился Эйнштейн. Увлечение физикой заставило его после окончания школы в 1866 г. продолжить физическое образование.

Защитив в 1868 г. диссертацию на степень доктора философии, он работает ассистентом на кафедре физики сначала в Цюрихе, потом в Гисене, а затем в Страсбурге (1874–1879) у Кундта. Здесь Рентген прошел хорошую экспериментальную школу и стал первоклассным экспериментатором. Он производил точные измерения отношения C_p/C_v для газов, вязкости и диэлектрической проницаемости ряда жидкостей, исследовал упругие свойства кристаллов, их пьезоэлектрические и пироэлектрические свойства, измерял магнитное поле движущихся зарядов (ток Рентгена). Часть важных исследований Рентген выполнил со своим учеником, одним из основателей советской физики А.Ф. Иоффе.

Научные исследования относятся к электромагнетизму, физике кристаллов, оптике, молекулярной физике.

В 1895 г. открыл излучение с длиной волны, более короткой, нежели длина волны ультрафиолетовых лучей (Х-лучи), названное в дальнейшем рентгеновскими лучами, и исследовал их свойства: способность отражаться, поглощаться, ионизировать воздух и т. д. Предложил правильную конструкцию трубки для получеиия Х-лучей – наклонный платиновый антикатод и вогнутый катод. Первый сделал фотоснимки при помощи рентгеновских лучей. Открыл в 1885 г. магнитное поле диэлектрика, движущегося в электрическом поле (так называемый «рентгенов ток»). Его опыт наглядно показал, что магнитное поле создается подвижными зарядами, и имел важное значение для создания Х. Лоренцем электронной теории. Значительное число работ Рентгена посвящено исследованию свойств жидкостей, газов, кристаллов, электромагнитных явлений, открыл взаимосвязь электрических и оптических явлений в кристаллах. За открытие лучей, носящих его имя, Рентгену в 1901 г. первому среди физиков была присуждена Нобелевская премия.

С 1900 г. и до последних дней жизни (умер он 10 февраля 1923 г.) он работал в Мюнхенском университете.

Урок 98. Шкала электромагнитных волн

Цель: рассмотреть шкалу электромагнитных волн и их свойства.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение изученного

- Где находится инфракрасный участок спектра?
- В каких пределах заключены длины волн инфракрасного излучения?
- Что является источником инфракрасного излучения?
- Опишите свойства инфракрасных лучей.
- Какое излучение называют ультрафиолетовым излучением?
- В каких пределах заключены длины волн или частоты ультрафиолетового излучения?
- Что является источником ультрафиолетовых лучей?
- Какими свойствами обладают ультрафиолетовые лучи?
- Нарисуйте схему и объясните устройство и принцип работы рентгеновской трубки.
- В каких пределах заключены длины волн рентгеновского излучения?
- Перечислите источники рентгеновского излучения.

III. Изучение нового материала

Общие свойства и характеристики электромагнитных волн

Свойства	Характеристики
1. Распространение в пространстве с течением времени	Скорость электромагнитных волн в вакууме постоянная и равна приблизительно 300000 км/с
2. Все волны поглощаются веществом	Различные коэффициенты поглощения
3. Все волны на границе раздела двух сред частично отражаются, частично преломляются	Законы отражения и преломления. Коэффициенты отражения для различных сред и различных волн
4. Все электромагнитные излучения проявляют свойства волн: складываются, огибают препятствие. Несколько волн одновременно могут существовать в одной области пространства	Принцип суперпозиции. Для когерентных источников правила определения максимумов. Принцип Гюйгенса – Френеля. Волны между собой не взаимодействуют

5. Сложные электромагнитные волны при взаимодействии с веществом раскладываются в спектр – дисперсия	Зависимость показателя преломления среды от частоты волны. Скорость волны в веществе зависит от преломления среды $\upsilon = \frac{c}{n}$
6. Волны разной интенсивности	Плотность потока излучения I

Радиоволны

$$\nu = 10^5 - 10^{11} \text{ Гц}; \quad \lambda \approx 10^{-3} - 10^3 \text{ м}.$$

Получают с помощью колебательных контуров и макроскопических вибраторов.

Свойства

Радиоволны различных частот и с различными длинами волн поразному поглощаются и отражаются средами, проявляют свойства дифракции и интерференции.

Применение

Радиосвязь, телевидение, радиолокация.

Инфракрасное излучение

Тепловое

$$\nu = 3 \cdot 10^{11} - 4 \cdot 10^{14} \text{ Гц}; \quad \lambda = 8 \cdot 10^{-7} - 2 \cdot 10^{-7} \text{ м}.$$

Излучаются атомами и молекулами вещества.

Инфракрасное излучение дают все тела при любой температуре. Человек излучает электромагнитные волны:

$$\lambda \approx 9 \cdot 10^{-6} \text{ м}.$$

Свойства

Проходит через некоторые непрозрачные тела, производит химическое действие на фотопластинки, поглощаясь веществом, нагревает его, вызывает внутренний фотоэффект у германия, невидимо, способно к явлениям интерференции и дифракции.

Регистрируется тепловыми методами, фотоэлектрическими и фотографическими.

Применение

Получают изображения предметов в теплоте, приборы ночного видения, системы самонаведения. Используют в криминалистике, физиотерапии, в промышленности для сушки окрашенных изделий, стен зданий, древесины, фруктов.

Видимое излучение

Часть электромагнитного излучения, воспринимаемая глазом (от красного до фиолетового):

$$\nu = 4 \cdot 10^{11} - 8 \cdot 10^{14} \text{ Гц}; \quad \lambda = 8 \cdot 10^{-7} - 4 \cdot 10^{-7} \text{ м}.$$

Свойства

Отражается, преломляется, воздействует на глаза, способно к дисперсии, интерференции, дифракции.

Ультрафиолетовое излучение

$$\nu = 8 \cdot 10^{11} - 3 \cdot 10^{15} \text{ Гц}; \quad \lambda = 10^{-8} - 4 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

(меньше, чем у фиолетового света).

Источники: газоразрядные машины с трубками из кварца (кварцевые лампы).

Излучается всеми твердыми телами, у которых $t > 1000$ °С, а также светящимися парами ртути.

Свойства

Высокая химическая активность (разложение хлорида серебра, свечение кристаллов сульфида цинка), невидимо, большая проникающая способность, убивает микроорганизмы, в небольших дозах благотворно влияет на организм человека (загар), но в больших дозах оказывает отрицательное биологическое воздействие: изменение в развитии клеток и обмене веществ, действует на глаза.

Применение

В медицине, промышленности.

Рентгеновские лучи

Излучаются при большом ускорении электронов, например, их торможении в металлах.

Получают при помощи рентгеновской трубки: электроны в вакуумной трубке ($p = 10^{-3}$–10^{5} Па) ускоряются электрическим полем при высоком напряжении, достигая анода, при соударении резко тормозят.

При торможении электроны движутся с ускорением и излучают электромагнитные волны с малой длиной от 100 нм до 0,01 нм.

Свойства

Интерференция, дифракция рентгеновских лучей на кристаллической решетке, большая проникающая способность. Облучение в больших дозах вызывает лучевую болезнь.

Применение

В медицине (диагностика заболеваний внутренних органов), в промышленности (контроль за внутренней структурой различных изделий, сварных швов).

γ-измерение

$$\nu = 3 \cdot 10^{20} \text{ Гц}; \quad \lambda = 3{,}3 \cdot 10^{-18} \text{ м}.$$

Источники: ядерные реакции.

Свойства

Имеет огромную проникающую способность, оказывает сильное биологическое воздействие.

Применение

В медицине, промышленности (γ-дефектоскопия).

Вывод

Вся шкала электромагнитных волн является свидетельством того, что все излучения обладают одновременно квантовыми и волновыми свойствами. Квантовые и волновые свойства в этом случае не исключают, а дополняют друг друга. Волновые свойства ярче проявляются при малых частотах и менее ярко – при больших. И наоборот, квантовые свойства ярче проявляются при больших частотах и менее ярко – при малых. Чем меньше длина волны, тем ярче проявляются квантовые свойства, а чем больше длина волны, тем ярче проявляются волновые свойства. Все это служит подтверждением закона диалектики (переход количественных изменений в качественные).

IV. Закрепление изученного материала

– Что позволяет объединить все виды электромагнитного излучения в одну шкалу электромагнитных волн?
– На какие виды излучений принято делить шкалу электромагнитных волн?
– Называя виды электромагнитных излучений, укажите их диапазоны длин волн или диапазоны частот.

V. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 87.

Урок 99. Игра «Что? Где? Когда»

Цели: обобщить, систематизировать знания по теме «Излучение»; совершенствовать навыки решения задач различного типа; расширить кругозор учащихся.

Ход урока

Подготовка к уроку

Перед началом урока-игры оглашаются правила. Назначаются капитаны команд. Капитаны на листочках пишут список членов своей команды и проставляют любое двузначное число. Команда, обозначившая наименьшее число, начинает игру.

Вопросы составляет сам учитель или совместно с активом старших учащихся. Каждый вопрос должен начинаться с одного из слов названия игры («что, где, когда, почему?») и быть интересным. На все вопросы у ведущего заранее должны быть правильные ответы.

Условия игры

– на обдумывание вопроса дается 1 мин;

– если команда, посовещавшись, дает правильный ответ, то каждый ее участник получат одно очко, а отвечавший – очко со знаком «+» (плюс означает учет ответа);

– если команда не смогла ответить на вопрос, то на него отвечает любой зритель, получая за это тоже очко со знаком «+»;

– высказываться могут все желающие. Единственное условие – не повторяться;

– если и команда, и зрители не ответили на вопрос, он снимается, и ведущий зачитывает правильный ответ;

– если команда не дала верный ответ на предложенный ей вопрос, она освобождает игровой стол;

– команда, правильно отвечающая на вопросы, может давать подряд ответы не более чем на 5 вопросов;

– во время ответа никто не имеет права добавлять или исправлять говорящего. Уточнить вопрос и ответ может только ведущий;

– желающие дополнить ответ, высказать что-то по ходу игры обязаны поднять руку;

– за оригинальные дополнения ведущий может дать говорившему поощрительное очко со знаком «+»;

– за подсказки, разговоры, передачу подсказок жестами или записками участники игры (в том числе и зрители) подвергаются штрафу. У них вычитают одно очко;

– в конце игры участники, набравшие 6 и более очков, получают две пятерки, 5 очков – оценку «5», 4 очка – «4». Право на оценку в журнале дают только очки со знаком «+», свидетельствующие о самостоятельном полном и правильном ответе;

– ведущим может быть любой ученик этого или другого класса, либо учитель;

– во время игры можно пользоваться справочной литературой и учебником.

Возможные вопросы

1. Почему гремучие и другие ямкоголовые змеи легко отыскивают добычу в темное, несмотря на то, что ночное зрение у них не развито? Чем это можно объяснить? (*У таких змей по обе стороны головы, между ноздрей и глазом, имеются два конических углубления, по краям которых находятся особые клетки, чувствительные к инфракрасным лучам. В поисках добычи змея медленно ползет и обследует землю и низкие кусты, стараясь уловить все, что теплее или холоднее окружающей среды. Температурная разница всего лишь в 0,0018 °С уже заставляет змею насторожиться. Затем она бесшумно приближается к живому объекту, будь то лягушка, охлажденная за счет испарения влаги с кожи, или спящая птица, или другое животное. Используя свои перекрывающие конические поля тепловой чувствительности (термолокаторы), змея может определить, когда именно она приблизится к животному на расстояние, достаточное, чтобы поразить его; она может также узнать о позе и размерах возможной жертвы.*)

2. Почему в процессе созревания растения обычно меняют цвет, например рожь, пшеница, овес и др.? (*Во время своего развития растения имеют зеленую окраску, то есть они отражают зеленые лучи и поглощают красную часть спектра. Красные лучи обладают наибольшим тепловым эффектом и способствуют образованию хлорофилла. В процессе созревания растение не нуждается больше в органических веществах и меняет окраску на золотисто-оранжевую или беловатую. Растение такого цвета поглощает значительно меньше красных лучей.*)

3. Почему сильнее нагревается на солнце: хорошо загоревший человек или совсем не загоревший? (*Образование коричневого загара есть самозащита организма от чрезмерного действия ультрафиолетовых и фиолетовых лучей: лучи высокой частоты сильно поглощаются этим пигментом, вызывая только безвредное нагревание. Поэтому хорошо загоревший человек нагревается на солнце сильнее, чем не загоревший, но он не испытывает вредного химического действия световых лучей.*)

4. Почему в оранжереях растут вечнозеленые растения, в то время как на открытом воздухе еще не растаял снег и температура

ниже 0 °C? (*Солнечный свет, в котором наибольшее количество энергии приходится на долю видимых лучей, проникает в оранжерею с незначительными потерями. Поглощаясь почвой и растениями, он вызывает нагревание, вследствие чего начинается обратное лучеиспускание энергии. Однако это лучеиспускание совершается инфракрасными лучами, для которых стеклянное перекрытие непроницаемо. Таким образом, оранжерея является как бы ловушкой для солнечной энергии, которая поглощает энергию и очень мало ее излучает. Поэтому в оранжереях даже без искусственного подогрева может быть получена достаточно высокая температура при сравнительно слабом солнечном свете.*)

5. Почему гнезда термитов имеют форму крыла, плоскости которого обращены точно к востоку и западу. Почему термиты так строят свои жилища? (*Такой формы и так сориентированные сооружения термитов поглощают меньше солнечного тепла в полдень, но, собирая излучаемое тепло от восхода солнца и до самого захода, увеличивают продолжительность теплового дня для находящихся в них личинок.*)

6. Почему в густом еловом лесу нет ни красных, ни синих, ни желтых цветов, – они белые или бледно-розовые. Чем это объясняется? (*В полумраке под густыми ветвями елей хорошо заметен издалека только белый или бледно-розовый цвет, поэтому насекомые (в поисках нектара) опыляют лишь эти цветы.*)

7. Оптимальная температура тела бабочки-перламутровки 32,5–35,5 °C. В солнечную погоду бабочка поддерживает температуру независимо от температуры окружающей среды. Как ей это удается? (*Бабочка поддерживает постоянную температуру своего тела с помощью крыльев. Больше всего тепла крылья получают, если солнечные лучи падают перпендикулярно к ним. Чем больше угол падения, тем слабее нагревание. Как только температура тела достигает 35 °C, бабочка изменяет положение крыльев, пока не найдет такое положение, при котором количество получаемого тепла будет устойчиво поддерживать нужную температуру.*)

8. Почему большинство животных Крайнего Севера белого цвета, а те, окраска которых иная, например, белка, заяц, меняют ее зимой на белую? (*Животное белого цвета меньше излучает теплоты в окружающее пространство, что особенно важно в условиях Крайнего Севера.*)

9. Почему животные воспринимают инфракрасные лучи? (*Некоторые из глубоководных кальмаров, помимо обычных глаз, наделены*

еще так называемыми термоскопическими глазами, т. е. органами, способными улавливать инфракрасные лучи. Эти глаза у них рассеяны по всей нижней поверхности тела, и каждый имеет вид небольшой темной точки. Под микроскопом видно, что устроен он, как обычный глаз, но снабжен светофильтром, сдерживающим все лучи, кроме инфракрасных. Светофильтр расположен перед преломляющей линзой-хрусталиком. Линза отбрасывает сконцентрированный пучок световых лучей на чувствительный к ним воспринимающий орган.)

Подведение итогов

Подводятся итоги игры, выставляются оценки.

Домашнее задание

п. 81–87.

Квантовая физика

Глава 11. Световые кванты

Урок 100. Квантовая физика

Цель: ознакомить с новым разделом физики.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Изучение нового материала

В конце XIX в. *многие ученые считали*, что развитие физики завершилось по следующим причинам:

1. Больше 200 лет существуют законы механики, теория всемирного тяготения.
2. Разработана молекулярно-кинетическая теория.
3. Подведен прочный фундамент под термодинамику.
4. Завершена максвелловская теория электромагнетизма.
5. Открыты фундаментальные законы сохранения (энергии, импульса, момента импульса, массы и электрического заряда).

В конце XIX – начале XX вв. открыты:

В. Рентгеном – Х-лучи;

А. Беккерелем – явление радиоактивности;

Дж. Томсоном – электрон.

Однако классическая физика не сумела объяснить эти явления.

Теория относительности А. Эйнштейна потребовала коренного пересмотра понятий пространства и времени. Специальные опыты доказали справедливость гипотезы Д. Максвелла об электромагнитной природе света. Можно было предположить, что излучение электромагнитных волн нагретыми телами обусловлено колебательным движением электронов. Но это предположение нужно было подтвердить сопоставлением теоретических и экспериментальных данных.

Для теоретического рассмотрения законов излучений использовали модель абсолютно черного тела, т. е. тела, полностью поглощающего электромагнитные волны любой длины. Австрийские физики И. Стефан и Л. Больцман экспериментально установили, что полная энергия, излучаемая за 1 с абсолютно черным телом с единицы поверхности пропорциональная четвертой степени абсолютной температуры:

$$E = \upsilon T^4,$$

где $\upsilon = 5{,}67 \cdot 10^{-8}\ \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2 \cdot \text{к}^4 \cdot \text{с}}$ – постоянная Больцмана.

Закон был назван законом Стефана-Больцмана. Он позволил вычислить энергию излучения абсолютно черного тела по известной температуре. По заданным значениям температуры интенсивность излучения черного тела максимальна и соответствует определенному значению длины волны.

Немецкий физик В. Вин обнаружил, что при изменении температуры длина волны, на которую приходится E_{max}, убывает на $\sim \frac{1}{T}$, поэтому $\lambda_{max} \cdot T = const$.

Используя законы термодинамики В. Вин получил закон распределения энергии в спектре черного тела, который совпадает с экспериментальными результатами.

Английский физик Дж. Рэлей сделал попытку более строгого теоретического вывода закона распределения энергии. Его закон приводит к хорошему совпадению с опытами в области малых частей. По этому закону интенсивность излучения должна возрастать на $\sim v^2$. Следовательно, в тепловом излучении должно быть много ультрафиолетовых и рентгеновских лучей, чего на опыте не наблюдалось. Затруднения в согласовании теории и результатов эксперимента получили название ультрафиолетовой катастрофы. Законы, полученные Максвеллом, оказались не в состоянии объяснить форму кривой распределения интенсивности в спектре абсолютно черного тела.

В самом конце прошлого века Макс Планк (1858–1947), как и многие до него, искал универсальную формулу для спектральной функции абсолютно черного тела. Ему повезло больше, чем другим – вначале он ее просто угадал, хотя появилась она не вдруг: два года напряженных размышлений потребовались Планку, чтобы объединить в одной формуле разрозненные куски единой картины явления теплового излучения.

19 октября 1900 г. происходило очередное заседание Немецкого физического общества, на котором экспериментаторы Генрих Рубенс (1885–1922) и Фердинанд Курлбаум (1857–1927) докладывали о новых, более точных измерениях спектра абсолютно черного тела. После доклада состоялась дискуссия, в ходе которой экспериментаторы сетовали на то, что ни одна теория не может объяснить их результаты. Планк предложил воспользоваться своей формулой. В ту же ночь Рубенс сравнил свои измерения с формулой Планка и убедился, что она правильно, до мельчайших подробностей, описывает спектр абсолютно черного тела. На утро он сообщил это коллеге и близкому другу Планку и поздравил его с успѐхом.

Однако План был теоретик и потому ценил не только окончательные результаты теорий, но и внутреннее их совершенство. К

тому же он и не знал, что открыл новый закон природы, и верил, что его можно вывести из ранее известных. Поэтому он стремился теоретически обосновать закон излучения, исходя из простых посылок кинетической теории материи и термодинамики. Последовали два месяца непрерывной работы и предельного напряжения сил. Ему это удалось. Но какой ценой! В процессе вычислений он предположил, что энергия испускается порциями (или квантами), которые определяются формулой:

$$E = h\nu ,$$

где ν – частота излучения; h – постоянная Планка.

Предположение Планка было простым, но по существу противоречило всему прежнему опыту физики. «Излучение – это волновой процесс». Если так, то энергия в этом процессе должна передаваться непрерывно, а не порциями – квантами. Это противоречие Планк осознавал. Он выявил эту формулу, когда ему было 42 года, но почти всю оставшуюся жизнь он страдал от логического несовершенства им же созданной теории. Двадцать лет спустя, в докладе, который План сделал по случаю вручения ему Нобелевской премии по физике, он вспоминал, что в то время признание реальности квантов было для него равносильно «нарушению непрерывности всех причинных связей в природе». И далее, в 1933 г. в письме к Роберту Вуду он назвал свою теорию «актом отчаяния».

Только формула Планка удовлетворила ученых: она поразительно совпадала с результатами опытов, хоти и не становилась от этого более понятной. Только четверть века спустя новая наука – квантовая механика – объяснит истинный смысл революции, которую, подчиняясь логике научного исследования, и во многом вопреки своей воле, совершил в физике Макс Планк.

В *пятницу*, 14 *декабря* 1900 г. в *зоне заседания* Немецкого физического общества родилась новая наука – учение о квантах.

III. Закрепление изученного

– Как согласно гипотезе Планка абсолютно черное тело излучает энергию?
– Согласно электродинамике Максвелла нагретое тело, непрерывно теряя энергию вследствие излучения электромагнитных волн, должно охладиться до абсолютного нуля. Так ли это в действительности?
– За счет чего получена теория теплового излучения Планка в применении к макроскопическим системам?
– Что происходит с максимумом интенсивности излучения при увеличении температуры нагретого тела?
– Какие явления изучает квантовая физика?

IV. Подведение итогов урока

Домашнее задание

с. 269–270.

Дополнительный материал

Макс Карл Эрнст Людвиг Планк (1858-1947)

Макс Карл Эрнст Людвиг Планк родился в 1858 году в городе Киле, где его отец был профессором юриспруденции.

Макс Планк получил в основном математическое образование. Он учился в Мюнхене, потом в Берлине. Его учителями были такие выдающиеся немецкие ученые, как Гельмгольц и Кирхгоф. Его ранние работы по теории теплоты принесли ему известность и, не достигнув даже тридцатидвухлетнего возраста, Планк руководил кафедрой физики в Берлинском университете.

Он никогда не занимался экспериментальной работой и всю жизнь оставался теоретиком до мозга костей.

Планк всю жизнь интересовался философскими вопросами физики, был убежден в реальности внешнего мира и в могуществе разума. Это существенно отметить, потому что очень важный этап его деятельности протекал в обстановке кризиса в физике.

Однако материалистически настроенный Планк твердо противостоял модным позитивистским увлечениям Маха и Оствальда, о которых мы еще будем говорить. «Он был типичным немцем в лучшем смысле этого слова, – пишет в своей книге Джорд Паджет Томсон, видный физик нашего времени, сын Дж.-Дж. Томсона. – Честный, педантичный, с чувством собственного достоинства, по-видимому, способный отбросить всю чопорность и превратиться в обаятельного человека».

Работая одно время в университете вместе с Эйнштейном, Планк был с ним очень дружен. Часто вечерами в импровизированных концертах они выступали вдвоем: Планк играл на фортепиано, Эйнштейн – на скрипке.

Макс Планк был спокойным человеком с сильным характером. Он до конца своей жизни оставался предан науке, всегда хорошо относился к людям и никогда не стоял в стороне от общественных дел и событий.

О твердости и принципиальности его характера говорит тот факт, что в годы фашистского режима на одном из официальных приемов Планк бесстрашно осудил преследование властями евреев и просил об освобождении ряда своих знакомых. Взбешенный фюрер выставил его из кабинета.

Некоторое время спустя младший сын Планка вместе с другими патриотами после раскрытия заговора против Гитлера был арестован и казнен фашистами.

Такой осталась память о Максе Планке – честном, немного старомодном для своего бурного времени немецком профессоре, безгранично преданном классической науке, в которую, сам того не желая, он внес самое большое потрясение.

Таким остался Макс Планк в воспоминаниях тех, кто его знал и любил.

Урок 101. Фотоэффект

Цель: рассмотреть явление фотоэффекта и выяснить основные его законы.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение

- Как изменится частота измерения, если энергию кванта увеличить в 2 раза?
- Какие из физических явлений не смогла объяснить классическая физика?
- Как испускают энергию атомы согласно гипотезе Планка?
- Как излучает энергию нагретое тело согласно теории Максвелла?
- Все ли тела излучают энергию?
- Запишите формулу энергии М. Планка?
- Чему равна постоянная Планка?

III. Изучение нового материала

Эксперимент 1

Цинковая пластинка соединена с электродом и освещается электрической дугой без стеклянной оптики. Цинковую пластину заряжают один раз отрицательным зарядом, а другой раз потенциально. В первом случае электрометр разряжается, во втором – нет.

Опыт с отрицательно заряженной цинковой пластинкой повторяют. Но пучок света перекрывают непрозрачным экраном, а затем убирают, эффект обнаруживается при освещении практически сразу (через 10^{-9} с).

Эксперимент с отрицательно заряженными пластинками других металлов. По времени разряда электрометра до нуля делают вывод о скорости разряда пластин.

Эксперимент 2

Повторяют опыт с отрицательно амальгамированной пластинкой, установленной один раз на расстоянии 1 м от источника света, а другой – на расстоянии вдвое меньше. Скорость разряда электрометра увеличивается.

Эксперимент с отрицательно заряженными пластинками цинка и меди. Экраном из органического стекла перекрывают источник ультрафиолетового излучения. На цинке фотоэффект есть, на меди – нет.

Выводы: фотоэффект состоит из вырывания электронов из поверхности металла при его освещении. Электрическое поле отрицательно заряженной пластинки металла способствует уносу эмитиро-

ванных электронов с поверхности металла, а электрическое поле положительно заряженной пластинки возвращает электроны в металл. Данное явление практически безынерционно. Интенсивность фотоэффекта зависит от рода металла, величины светового потока и спектрального состава излучения.

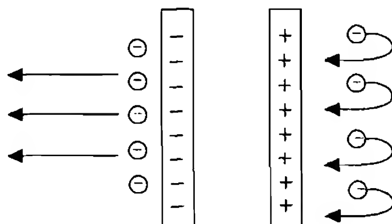


Рис. 93

Влияние знака электрического заряда пластинки на фотоэлектрон

Волновая теория

Освобождение электронов с поверхности металла не является механическим эффектом. При падении электромагнитной волны на поверхность металла переменное электрическое поле вызывает колебания свободных электронов в металлах: их кинетическая энергия возрастает. При большой интенсивности электромагнитного излучения, а значит, напряженности E электрического поля, кинетическая энергия электрона может достичь величины, достаточной для того, чтобы преодолеть силы притяжения к металлу и покинуть его. Однако опыты показывают, что фотоэффект наступает даже при малых интенсивностях света. Это не может быть объяснено на основе волновой теории.

Квантовая картина

При поглощении фотона энергия фотона $E = h\nu$ передается свободному электрону. Она расходуется на освобождение электрона из металла – на работу выхода и на сообщении ему кинетической энергии.

При этом энергия фотона передается электрону в металле только целиком, а сам фотон перестает существовать.

Сегодня внешним фотоэффектом мы называем явление, когда под действием электромагнитного излучения вещество испускает электроны. Начало этому открытию было положено еще в 1887 г., когда Генрих Герц, занимаясь опытами с электромагнитными волнами, заметил, что если осветить цинковую пластину ультрафиолетовым светом, то она зарядится.

Количественная закономерность фотоэффекта была установлена А. Г. Столетовым.

Первый закон

Фототок насыщения пропорционален световому потоку, падающему на металл:

$$I_н = \nu\Phi ,$$

где ν – коэффициент пропорциональности, называемый фоточувствительностью вещества.

Следовательно, число электронов, выбиваемых за 1 с из вещества, пропорционально интенсивности света, падающего на это вещество.

Второй закон

Изменяя условия освещенности А. Г. Столетов установил, что кинетическая энергия фотоэлектронов не зависит от интенсивности падающего света, а зависит от его частоты.

Если к освещенному электроду подключить положительный полюс батареи, то при некотором напряжении фототок прекращается. Это явление не зависит от величины светового потока. Используя закон сохранения энергии:

$$\frac{m\upsilon^2}{2} = eU_з ,$$

где e – заряд; m – масса электрона; υ – скорость электрона; $U_з$ – запирающее напряжение, – устанавливают, что если частоту лучей, которыми облучают электрод, увеличить, то $U_{з_2} > U_{з_1}$, поэтому $E_{K_2} > E_{K_1}$.

Следовательно, $\nu_2 > \nu_1$.

Таким образом, кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с частотой света.

Третий закон

Заменяя в приборе материал фотокатода; Столетов установил третий закон фотоэффекта.

Для каждого вещества существует красная граница фотоэффекта, т. е. существует наименьшая частота ν_{min}, при которой еще возможен фотоэффект.

При $\nu < \nu_{min}$ – ни при какой интенсивности волны падающего света на фотокатод фотоэффект не произойдет.

Четвертый закон

Фотоэффект практически безынерционен.

Теория фотоэффекта

А. Эйнштейн, развив идею Планка (1905 г.), показал, что законы фотоэффекта могут быть объяснены при помощи квантовой теории.

Явление фотоэффекта экспериментально доказывает, что свет имеет прерывистую структуру.

Излученная порция $E = h\nu$ сохраняет свою индивидуальность и поглощается веществом только целиком. На основании закона сохранения энергии:

$$h\nu = A + \frac{m\upsilon^2}{2}$$

Так как $\upsilon = \frac{e}{\lambda}$, то:

$$\frac{m\upsilon^2}{2} = U_з e\ ;\ A = \upsilon_{к.г.р.} h = \frac{e}{\lambda_{к.г.р.}} \cdot h\ ;$$

$$h\frac{C}{\lambda} = \frac{e}{\lambda_{к.г.р.}} h + U_з e\ .$$

Шестнадцать лет спустя классическую простоту уравнения Эйнштейна Шведская академия наук отметила Нобелевской премией. Но в 1905 г. когда уравнение было написано впервые, на него ополчились все, даже Планк.

А. Эйнштейн поступил так, как будто до него вообще не существовало физики, или, по крайней мере, как человек, ничего не знающий об истинной природе света. Здесь сказалась замечательная особенность Эйнштейна: в совершенстве владея логикой, он больше доверял интуиции и фактам, причем случайных фактов в физике для него не существовало. Поэтому в явлении фотоэффекта он видел не досадное исключение из правил волновой оптики, а сигнал природы о существовании еще неизвестных, но глубоких законов. Так уж случилось, что исторически сначала были изучены волновые свойства света. Только в явлении фотоэффекта физики впервые столкнулись с его корпускулярными свойствами. У большинства из них инерция мышления была настолько велика, что они отказывались верить.

IV. Закрепление изученного материала

- В чем состоит явление фотоэффекта?
- Когда и кем было открыто явление фотоэффекта?
- Нарисуйте схему установки опыта Герца и объясните, в чем суть опыта.
- Объясните опыты А. Г. Столетова.

- Объясните законы фотоэффекта с точки зрения квантовой теории света.
- Напишите формулу Эйнштейна для фотоэффекта и объясните ее физическую суть.
- Каково условие существования фотоэффекта?
- Что называют красной границей фотоэффекта?
- Запишите формулу для красной границы фотоэффекта.

V. Решение задач

Задача № 1

Определить наибольшую длину волны света, при которой может происходить фотоэффект для пластины.

Дано:	Решение:
$A_{вых} = 8{,}5\cdot10^{-19}$ Дж; $c = 3\cdot10^8$ м/с; $h = 6{,}63\cdot10^{-34}$ Дж·с.	$h\upsilon_{min} = A_{вых}$. $\lambda_{max} = \dfrac{c}{\upsilon_{min}}$; $\lambda_{max} = \dfrac{ch}{A_{вых}}$;
λ_{max} – ?	$\lambda = \left[\dfrac{\frac{м}{с}\cdot Дж\cdot с}{Дж}\right] = [м]$.

(*Ответ:* $\lambda_{max} = 2{,}34\cdot10^{-7}$ м.)

Задача № 2

Определить наибольшую скорость электрона, вылетевшего из цезия, при освещении его светом с частотой $7{,}5\cdot10^{14}$ Гц.

Дано:	Решение:
$\nu = 7{,}5\cdot10^{14}$ Гц; $h = 6{,}63\cdot10^{-34}$ Дж·с; $A_{вых} = 3{,}2\cdot10^{-19}$ Дж; $m_e = 9{,}1\cdot10^{-31}$ кг.	$h\upsilon = A_{вых} + \dfrac{m\upsilon^2}{2}$. $\upsilon_{max} = \sqrt{\dfrac{2}{me}\cdot(h\upsilon - A_{вых})}$;
υ_{max} – ?	

$$\upsilon = \left[\sqrt{\frac{Дж\cdot с\cdot Гц - Дж}{кг}}\sqrt{\frac{Дж}{кг}} = \sqrt{\frac{Н\cdot м}{кг}} = \sqrt{\frac{кг\cdot м}{с^2}\cdot\frac{м}{кг}} = \frac{м}{с}\right].$$

(*Ответ:* $\upsilon_{max} \approx 6{,}2\cdot10^5$ м/с.)

Задача № 3

Наибольшая длина волны света, при которой происходит фотоэффект для вольфрама, 0,275 мкм.

Найти:

1) работу выхода электронов из вольфрама;

2) наибольшую скорость электронов, вырываемых из вольфрама светом длиной волны 0,18 мкм;

3) наибольшую энергию этих элементов.

Дано:	Решение:
$\lambda_{max} = 2{,}75 \cdot 10^{-7}$ м; $\lambda = 1{,}8 \cdot 10^{-7}$ м; $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с; $c = 3 \cdot 10^8$ м/с; $m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ кг.	$A_{вых} = \dfrac{hc}{\lambda_{max}}$. $h\nu = A_{вых} + \dfrac{m\upsilon_{max}}{2}$; $\nu = \dfrac{c}{\lambda}$ и $E_{max} = \dfrac{m\upsilon_{max}^2}{2}$; $h\dfrac{c}{\lambda} = A_{вых} + E_{max}$; $E_{max} = \dfrac{hc}{\lambda} - A_{вых}$;
$A_{вых}$ – ? υ_{max} – ? E_{max} – ?	

(*Ответ:* $A_{вых} = 7{,}2 \cdot 10^{-19}$ Дж; $E_{max} = 3{,}85 \cdot 10^{-19}$ Дж; $\upsilon_{max} = 9{,}2 \cdot 10^5$ м/с.)

VI. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 88, 89.

Р – 1103; Р – 1005.

Дополнительный материал

Первые опыты по исследованию фотоэффекта А. Г. Столетов Начал 20 февраля 1888 г., исследования продолжались практически непрерывно до 21 июня 1889 г.

В опытах использовался гальванометр с ценой деления 6,7 «на 10 в минус 10-й степени» А. С помощью специального магнита чувствительность гальванометра увеличивалась, цена деления составляла 2,7 «на 10 в минус 10-й степени» А. Источники тока применялись различные, иногда опыт проводился без источника тока.

А. Г. Столетов назвал два диска (сплошной и в виде сетки) сетчатым конденсатором. Сплошной диск освещался с той стороны, где накапливался электрический заряд, а сетка освещалась со стороны, где зарядов практически не было. Это позволяло наилучшим образом исследовать «разряжающее» действие световых лучей.

Размеры дисков подбирались так, чтобы при небольшом расстоянии от электрической дуги (примерно 20 см) сплошной диск полностью освещался от отверстия, окружавшего лампу, диаметром 10 см. Расстояние от диска до лампы подбиралось так, чтобы не было сильного нагрева диска.

С чувствительным гальванометром А. Г. Столетов обнаружил ток в цепи сплошного диска и сетки даже при очень маленьких значениях напряжения между ними, но при непременном условии, что к освещаемому диску был присоединен отрицательный полюс батареи гальванических элементов, а к сетке – положительный. При малых напряжениях ток возникал при близком

расположении электродов (диска и сетки), при более высоких напряжениях ток был заметен даже при расстояниях больше 10 см.

Если освещаемый диск соединялся с положительным полюсом батареи, а сетка с отрицательным, электрический ток в цепи отсутствовал. А. Г. Столетов назвал это свойство наблюдаемого явления – нечувствительности положительных зарядов к световым лучам – униполярностью «актиноэлектрического действия» (именно так называл А. Г. Столетов явление, которое он исследовал).

А. Г. Столетов обнаружил, что на протекание явления существенным образом влияет состояние поверхности металлического диска. Даже плохо окисляемые на воздухе металлы (никель, серебро, платина) давали слабые токи, если их поверхность не зачищалась непосредственно перед проведением эксперимента (хотя иа взгляд они выглядели вполне чистыми). Очень трудно, практически невозможно было наблюдать явление с дисками, поверхности которых давно не зачищались или из легко окисляемых металлов, например, цинка. Даже малейший слой окисла существенно влиял на ход явления.

Столетов установил, что источником тока должна была быть именно дуговая лампа – электрическая дуга. С другими источниками света опыт не получался.

В опытах Столетова было выявлено, что действие света – электрический ток – зависит от того, насколько интенсивно освещается электрод. Как писал сам Столетов: «...действие (сила тока) пропорционально напряженности освещения или, лучше сказать, количеству активных лучей».

В опытах применялось и прерывистое освещение диска с помощью картонного круга с семью окошками по секторам (окошки и промежутки между ними были одинаковы по ширине). Картонный круг приводился во вращение с различной скоростью – от одного до одиннадцати оборотов в секунду. Измерения силы тока при таком освещении показали прямую пропорциональную зависимость силы тока от световой энергии, падающей на металлический диск.

Этот опыт с прерывистым освещением дал еще один очень важный результат. Электрический ток обнаруживался даже если диск освещался очень маленьких промежуток времени – около 1/150 с при самой большой скорости вращения диска. Однако Столетов понимал, что эти результаты не могут дать окончательного ответа на вопрос, обладает ли излучение, вызывающее электрический ток, прерывистыми или непрерывными свойствами.

Удивительно, как со столь несложными с точки зрения современной науки установками А. Г. Столетову удалось обнаружить даже безынерционность фотоэффекта. Это было очень нелегко! А. Г. Столетов сделал вывод о том, что электрический ток возникает практически мгновенно после освещения диска, с помощью хитроумных приспособлений, позволявших очень быстро менять освещенность диска и одновременно очень быстро замыкать и размыкать цепь гальванометра. При этом оказалось, что при всех доступных в опытах скоростях прерывания светового потока и электрической цепи пропорциональность силы тока и энергии света не нарушалась. Столетов

сделал вывод о том, что электрический ток «устанавливается мгновенно и в каждый момент соответствует силе освещения».

Урок 102. Решение задач

Цель: отработка навыков решения задач.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение

- В чем заключается явление фотоэффекта?
- Когда и кем было открыто явление фотоэффекта?
- Нарисуйте схему установки опыта Герца?
- Нарисуйте и объясните опыт А. Г. Столетова.
- Объясните законы фотоэффекта с точки зрения квантовой теории света.
- Напишите формулу Эйнштейна для фотоэффекта и объясните ее физическую суть.
- Каково условие существования фотоэффекта?
- Что называется красной границей фотоэффекта?
- Запишите формулу для красной границы фотоэффекта.
- Почему энергия фотоэлектронов определяется только частотой света?

III. Решение задач

1. Найдите частоту ν света, которым освещается поверхность металла, если максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона $K = 4{,}5\cdot10^{-20}$ Дж; работа выхода электрона из металла $A = 7{,}6\cdot10^{-19}$ Дж; постоянная Планка $h = 6{,}6\cdot10^{-34}$ Дж·с.

(*Ответ:* $\upsilon = \dfrac{A+K}{h} \approx 1{,}2\cdot10^{15}$ Гц.)

2. Свет с длиной волны $\lambda = 589$ нм падает на поверхность цезия. Найдите величину υ максимальной скорости фотоэлектронов. Работа выхода электрона из цезия $A = 1{,}89$ эВ; постоянная Планка $h = 6{,}6\cdot10^{-34}$ Дж·с; скорость света в вакууме $c = 3\cdot10^{8}$ м/с; масса электрона $m = 0{,}9\cdot10^{-30}$ кг.

1 эВ = $1{,}6\cdot10^{-19}$ Дж.

(*Ответ:* $\upsilon = \sqrt{\dfrac{2}{m}\left(\dfrac{hc}{\lambda} - A\right)} \approx 2{,}7\cdot10^{5}$ м/с.)

3. Какой должна быть длина λ электромагнитного излучения, падающего на кадмий, чтобы при фотоэффекте величина максимальной скорости вылетающих электронов была равна $\upsilon = 7{,}2 \cdot 10^5$ м/с. Работа выхода электрона из кадмия А = 4,1 эВ; постоянная Планка $h = 6{,}6 \cdot 10^{-34}$ Дж·с; скорость света в вакууме $c = 3 \cdot 10^8$ м/с; масса электрона $m = 0{,}9 \cdot 10^{-30}$ кг.

1 эВ = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Дж.

(*Ответ:* $\lambda = \dfrac{hc}{A + \dfrac{m\upsilon^2}{2}} \approx 225$ нм.)

4. Найдите длину волны λ света, который способен выбить из цезиевого образца электрон с максимальной кинетической энергией K = 2 эВ. Работа входа электрона из цезия А = 1,89 эВ; постоянная Планка $h = 6{,}6 \cdot 10^{-34}$ Дж·с; скорость света в вакууме $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

1 эВ = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Дж.

(*Ответ:* $\lambda = \dfrac{hc}{A + K} \approx 3{,}18$ нм.)

5. Излучение с длиной волны $\lambda = 0{,}3$ мкм падает на металлическую пластинку. Красная граница фотоэффекта для металла, из которого изготовлена пластина, равна $\nu_k = 4{,}3 \cdot 10^{14}$ Гц. Найдите в электрон-вольтах кинетическую энергию K фотоэлектронов. Постоянная Планка $h = 6{,}6 \cdot 10^{-34}$ Дж·с; скорость света в вакууме $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

1 эВ = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Дж.

(*Ответ:* $K = h\left(\dfrac{c}{\lambda} - \upsilon_k\right) \approx 2{,}35$ эВ.)

6. При поочередном освещении поверхности некоторого металла светом с длинами волн $\lambda_1 = 0{,}35$ мкм и $\lambda_2 = 0{,}54$ мкм обнаружили, что соответствующие максимальные скорости фотоэлектронов отличаются в $n = 2$ раза. Найдите в электрон-вольтах работу выходу A электрона с поверхности металла. Постоянная Планка $h = 6{,}6 \cdot 10^{-34}$ Дж·с; скорость света в вакууме $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

1 эВ = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Дж.

(*Ответ:* $A = \dfrac{h_c}{h_2} \dfrac{\left(n^2 - \dfrac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)}{(n^2 - 1)} = 1{,}9$ эВ.)

7. Красная граница фотоэффекта для материала фотокатода соответствует длине волны $\lambda_k = 700$ нм. Отношение максимальных ско-

ростей фотоэлектронов, вылетающих из катода при освещении его светом с длинами волн λ_1 и λ_2, равно n = 3/4. Определите λ_2, если λ_1 = 600 нм.

(*Ответ:* $\lambda_2 = \dfrac{1}{\dfrac{1}{n^2}\left(\dfrac{1}{\lambda_1}-\dfrac{1}{\lambda_k}\right)+\dfrac{1}{\lambda_k}} \approx 540$ нм.)

IV. Подведение итогов урока

Домашнее задание

Р – 1106; Р – 1107.

Урок 103. Лабораторная работа по теме: «Измерение работы выхода электрона при фотоэлектрическом эффекте»

Цель: приобретение опыта проведения экспериментальных исследований с применением фотоэлектронных приборов для измерения слабых токов

Ход урока

При нормальном режиме работы катод фотоэлемента соединяется с отрицательным полюсом источника постоянного напряжения, анод – с положительным полюсом источника. Если нет освещения сила тока в цепи фотоэлемента равна нулю, так как между катодом и анодом вакуум. При освещении катода с длиной волны короче красной границы фотоэффекта в цепи возникает электрический ток.

$h\nu = A + t_k \qquad A = h\nu - E_k$

Максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов можно измерить, применив метод задерживающего потенциала. Катод фотоэлемента соединяют с положительным полюсом регулируемого источника постоянного напряжения, анод – с отрицательным полюсом. К фотоэлементу подключают гальванометр. При освещении катода в цепи фотоэлемента протекает электрический ток, так как часть освобожденных с катода фотоэлектронов попадает на анод. При плавном увеличении напряжения между катодом и анодом с помощью потенциометра сила тока в цепи фотоэлемента постоянно убывает, т. к. электрическое поле при обратном подключении фотоэлемента к источнику напряжения препятствует движению электронов от катода к аноду. Минимальное значение напряжения, прекращающего ток в цепи фотоэлемента, называется запирающим напря-

жением. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов равна работе сил эл. поля.

$$E_k = eU \quad A = h\nu - eU.$$

Ход работы

1. Соберите электрическую цепь по схеме (рис. 94). Установите с помощью потенциометра напряжение на фотоэлементе равным нулю. Направьте на фотоэлемент солнечный свет или свет от электрической лампы. Гальванометр в цепи обнаружит электрический ток.

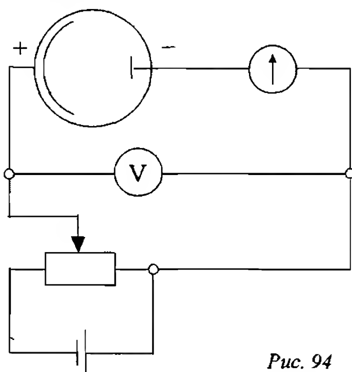


Рис. 94

2. Установите в окошке перед фотоэлементом синий светофильтр. Направьте свет через светофильтр на фотоэлемент. Постепенно увеличивая запирающее напряжение, определите значение запирающего напряжения *U*, при котором сила тока в цепи фотоэлемента становится равным нулю.

3. По измеренному значению запирающего напряжения *U*, частота света $d = 7{,}15 \cdot 10^{14} c^{-1}$, пропускаемого синим светофильтром и известным значением постоянной Планка $h = 6{,}6 \cdot 10^{-34}$ Дж·с и заряда электрона $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Вычислите работу выхода А электронов с поверхности катода фотоэлемента. Выразите значение работы выхода в джоулях и электронвольтах. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу.

ν, c^{-1}	U_1, В	A_1 Дж	А эВ

Домашнее задание

Р – 1108, Р – 1109.

Урок 104. Фотоны

Цель: сформировать у учащихся представление о фотоне.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Лабораторная работа (фронтальный эксперимент)

Задание: Исследуйте и объясните явления, возникающие в электрической цепи (рис. 95) при освещении неоновой лампочки лампой накаливания.

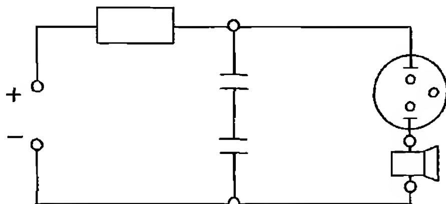


Рис. 95

$R = 3 \cdot 10^8$ м/с; $C_1 = 1$ мкФ; $C_2 = 0{,}5$ мкФ.

Неоновые лампы имеют цезиевый катод. За счет этого лампочка оказывается чувствительной к белому свету и ультрафиолетовому излучению. Перед опытом подают напряжение, несколько меньшее напряжения зажигания неоновой лампочки. При освещении катода кванты света выбивают с его поверхности электроны, что вызывает усиление тока и зажигание лампочки. При этом сопротивление резко падает, и батарея конденсаторов разряжается через лампочку и громкоговоритель, вызывая щелчок. Меняя расстояние от лампочки до осветителя, замечаем изменение частоты следования щелчков.

III. Изучение нового материала

Фотон – материальная, электрически нейтральная частица. Энергия фотона:

$$E = h\nu \text{ или } E = \hbar\omega;$$

$$\hbar = \frac{h}{2m}; \ \omega = 2m\nu;$$

$$h = 6{,}63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж·с};$$

$$\hbar \approx 1{,}55 \cdot 10^{-34} \text{ Дж·с}.$$

Согласно теории относительности:

$$E = mc^2 = h\nu.$$

Отсюда $m = \dfrac{h\nu}{c^2}$,

где m – масса фотона, эквивалентная энергии.

Импульс $p = m \cdot c = \frac{h\nu}{c} = \frac{E}{c} = \frac{h}{\lambda}$, т. к. $c = \lambda\nu$.

Импульс фотона направлен по световому пучку.

Основные свойства фотона:

1. Является частицей электромагнитного поля.

2. Движется со скоростью света.

3. Существует только в движении.

4. Остановить фотон нельзя: он либо движется со скоростью $\upsilon = c$, либо не существует. Следовательно, масса покоя фотона равна нулю.

Таким образом, многие физики в начале XX в. пришли к выводу, что свет обладает двумя свойствами:

1) При распространении он проявляет волновые свойства.

2) При взаимодействии с веществом проявляет корпускулярные свойства. Его свойства не сводятся ни к волнам, ни к частицам. Подтверждает закон диалектики: количество переходит в качество. Чем больше ν, тем ярче выражены квантовые свойства света и менее – волновые.

IV. Закрепление изученного материала

– Что представляет собой фотон?
– Перечислите основные свойства фотона?
– Напишите формулу энергии фотона, зная частоту колебаний света, либо используя длину волны.
– Как определить массу и импульс фотона?
– Как направлен импульс фотона?

V. Решение задач

Задача № 1

Определите энергию, массу и импульс фотона видимого света с длиной волны λ = 500 нм.

Дано:	Решение:
$\lambda = 5\cdot10^{-1}$ м; $c = 3\cdot10^{8}$ м/с.	$E = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$; $E = \left[\frac{Дж \cdot c \cdot \frac{м}{c}}{м}\right] = [Дж]$.
$E - ?$ $m - ?$ $p - ?$	

Масса: $m = \frac{h}{\lambda \cdot c}$;

$$m = \left[\frac{Дж \cdot c}{м \cdot \frac{м}{c}}\right] = \left[\frac{Дж \cdot c^2}{м^2} = \frac{н \cdot м \cdot c^2}{м^2} = \frac{кг \cdot м^2 \cdot c^2}{c^2 \cdot м^2}\right] = [кг].$$

Импульс фотона: $p = mc = \dfrac{h}{\lambda}$; $p = \left[\dfrac{Дж \cdot с}{м} = \dfrac{кг \cdot м \cdot м \cdot с}{с^2 \cdot м} = \dfrac{кг \cdot м}{с}\right]$.

(*Ответ:* $E = 4 \cdot 10^{-19}$ Дж; $m = 4{,}4 \cdot 10^{-36}$ кг; $p = 1{,}3 \cdot 10^{-27}$ кг· м/с.)

Задача № 2

Определите длину волны фотона, импульс которого равен импульсу электрона, пролетевшего ускоряющую разность потенциалов 4,9 В.

Дано:
$U = 4{,}9$ В;
$P_ф = P_e$;
$h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с;
$|e| = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл;
$m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ кг.

$\lambda - ?$

Решение:

$$P_ф = mc = \frac{h}{\lambda};\ P_e = m_e \upsilon;\ \frac{h}{\lambda} = m_e \upsilon;\ \lambda = \frac{h}{m_e \upsilon};$$

$$\frac{m_e \upsilon^2}{2} - \frac{m_e \upsilon_0^2}{2} = A;\ \upsilon_0 = 0;\ A = eU.$$

$$\frac{m_e \upsilon^2}{2} = e \cdot U;\ \upsilon = \sqrt{\frac{2eU}{m_e}}.$$

$$\lambda = \frac{h}{m_e \cdot \sqrt{\dfrac{2eU}{m_e}}} = \frac{h}{\sqrt{2eUm_e}}.$$

(*Ответ:* 0,56 нм.)

Задача № 3

Сколько фотонов попадает за 1 с в глаза человека, если глаз воспринимает свет с длиной волны 0,5 мкм при мощности светового потока $2 \cdot 10^{-17}$ Вт?

Дано:
$t = 1$ с;
$\lambda = 5 \cdot 10^{-7}$ м;
$\rho = 2 \cdot 10^{-17}$ Вт;
$h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с;
$c = 5 \cdot 10^{8}$ м/с.

$N - ?$

Решение:

Полная энергия фотона, попавшего в глаз, равна $W = P \cdot t$.

Энергия одного фотона:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda};\ N = \frac{W}{E} = \frac{P \cdot t \cdot \lambda}{h \cdot c};$$

$$N = \left[\frac{Вт \cdot с \cdot м}{Дж \cdot с \cdot \dfrac{м}{с}} = \frac{Дж / с \cdot с}{Дж} = 1\right].$$

(*Ответ:* N = 50.)

VI. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 90.

Р – 1117; Р – 1119.

Урок 105. Решение задач

Цель: отработка навыков решения задач.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение

– Что представляет собой фотон?
– Перечислите основные свойства фотона.
– Напишите формулу энергии фотона, зная частоту колебаний света или длину волны.
– Как определить массу и импульс фотона?
– Как направлен импульс фотона?

III. Решение задач

1. Мощность монохроматического источника света Р = 132 Вт. За время $\tau = 2$ с источник испускает $N = 8\cdot10^{20}$ световых квантов. Найдите длину волны λ излучения. Постоянная Планка $h = 6{,}6\cdot10^{-34}$ Дж·с; скорость света в вакууме $c = 3\cdot10^{8}$ м/с.

(*Ответ:* $\lambda = \dfrac{Nhc}{P\tau} = 0{,}6$ мкм).

2. Рубиновый лазер за время $\tau = 2\cdot10^{-3}$ с излучает $N = 2\cdot10^{19}$ квантов на длине волны $\lambda = 690$ нм. Найдите мощность P лазера. Постоянная Планка $h = 6{,}6\cdot10^{-34}$ Дж·с; скорость света в вакууме $c = 3\cdot10^{8}$ м/с.

(*Ответ:* $P = \dfrac{Nhc}{\lambda\tau} \approx 2{,}9$ кВт).

3. Источник света излучает ежесекундно $n = 10^{19}$ фотонов на длине волны $\lambda = 500$ нм. Какую мощность P потребляет этот источник, если в световую энергию переходит $\eta = 10\%$ потребляемой энергии? Постоянная Планка $h = 6{,}6\cdot10^{-34}$ Дж·с; скорость света в вакууме $c = 3\cdot10^{8}$ м/с.

(*Ответ:* $P = \dfrac{100\%}{\eta}\cdot\dfrac{nhc}{\lambda} \approx 40$ Вт).

4. Химический лазер создает инфракрасный луч мощностью $P = 36$ мВт. Один квант излучения имеет энергию $E_l = 7{,}2\cdot10^{-20}$ Дж и импульс $P_l = 2{,}4\cdot10^{-28}$ кг·м/с. Найдите величину F силы, действующей на такой лазер в процессе работы со стороны излучения.

(*Ответ:* $F = \frac{P}{E_1} \cdot P_1 = 1,2 \cdot 10^{-10}$ н).

5. Мощность точечного монохроматического источника света $P = 10$ Вт на длине волны $\lambda = 0,5$ мкм. На каком максимальном расстоянии r этот источник будет замечен человеком, если глаз надежно регистрирует $n = 60$ фотонов в секунду? Диаметр зрачка $d = 4$ мм. Постоянная Планка $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ Дж·с; скорость света в вакууме $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

(*Ответ:* $r = \frac{d}{4}\sqrt{\frac{P\lambda}{hcn}} \approx 6,5 \cdot 10^5$ м).

6. Пучок лазерного излучения мощностью $P = 100$ Вт падает нормально на непрозрачную пластинку. Пластинка поглощает $\eta = 50\%$ падающей энергии, а остальную, зеркальную, – отражает. Найдите величину F силы давления света на пластинку. Энергия F фотона связана с величиной ρ его импульса соотношением $E = \rho \cdot c$. Здесь $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света в вакууме.

(*Ответ:* $F = \frac{P}{c}\left(2 - \frac{\eta}{100\%}\right) = 0,5 \cdot 10^{-6}$ н).

7. В рентгеновской трубке электроны, испускаемые нагретой проволочкой K, ускоряются электрическим полем, ударяются о мишень A и тормозятся, испуская при торможении один или несколько рентгеновских фотонов. Найдите самую короткую длину волны λ_{min} рентгеновского излучения, если напряжение между электродами A и K равно $U = 30$ кВ. Постоянная Планка $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ Дж·с; скорость распространения электромагнитных волн в вакууме $c = 3 \cdot 10^8$ м/с; элементарный заряд $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Скорость электронов при вылете из катода считайте равной нулю.

(*Ответ:* $\lambda_{min} = \frac{hc}{eU} \approx 41$ нм).

Домашнее задание

Р – 1121; Р – 1125.

Урок 106. Самостоятельная работа

Цель: научить использовать теоретические знания на практике при решении задач.

Ход урока

Вариант I

1. Как изменяется со временем интенсивность испускания элек-

тронов цинковой пластинкой при облучении ее ультрафиолетовым светом? (*Уменьшается.*)

2. Как изменится кинетическая энергия электронов при фотоэффекте, если, не изменяя частоту, увеличить световой поток в 2 раза? (*Не изменится.*)

3. Как изменится фототок насыщения при увеличении частоты облучающего света и неизменном световом потоке? (*Не изменится.*)

4. Частота облучающего света увеличилась в 2 раза. Как изменилось запирающее напряжение фотоэлемента? (*Увеличилось больше чем в 2 раза.*)

5. Запишите уравнение Эйнштейна.

6. Можно ли законы фотоэффекта объяснить на основе волновой теории света? (*Нельзя.*)

7. Незаряженную металлическую пластину освещают рентгеновскими или ультрафиолетовыми лучами. Каков результат опыта? (*Пластина заряжается положительно.*)

8. Как изменится время разрядки цинковой пластины заряженной отрицательно, если поставить светофильтр, задерживающий инфракрасную часть спектра? (*Не изменится.*)

Вариант II

1. Какой заряд окажется на двух цинковых пластинах, одна из которых заряжена положительно, а другая отрицательно, если их облучить ультрафиолетовым светом? (*Обе пластины будут иметь положительный заряд.*)

2. Какие факторы определяют красную границу фотоэффекта? (*Вещество катода.*)

3. Как изменится скорость вылетающих из вещества электронов, если частота облучающего света увеличится? (*Увеличится.*)

4. Длина волны облучающего света уменьшилась в 2 раза. Как изменилась работа выхода электронов? (*Не изменится.*)

5. Как можно объяснить явление фотоэффекта? (*Только квантовой теорией света.*)

6. При освещении пластины зеленым светом фотоэффекта нет. Будет ли он наблюдаться при облучении той же пластины красным светом? (*Нет.*)

7. Как зависит запирающее напряжение фототока от длины волны облучающего света? (*Обратно пропорционально длине волны.*)

8. Как изменится со временем разряд отрицательно заряженной цинковой пластины, если ее облучить ультрафиолетовыми лучами? (*Уменьшится.*)

Вариант урока 106. Решение задач по теме: «Волновые и квантовые свойства света»

Цель: развитие навыков самостоятельной работы; отработка методов решения задач.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Решение задач

Задачи на «3» балла

1. Красная граница фотоэффекта для серебра равна 0,33 мкм. Чему равна в электронвольтах работа выхода электрона из серебра? (*Ответ*: 3, 75 эВ.)

2. Чему равна энергия, масса и импульс фотона для рентгеновских лучей ($\nu = 10^{18}$ Гц)? (*Ответ*: $6{,}62 \cdot 10^{-16}$ Дж; $7{,}3 \cdot 10^{-33}$ кг; $2{,}2 \cdot 10^{-24}$ кг·м/с.)

3. Работа выхода электрона с поверхности цезия равна 1,9 эВ. Возникнет ли фотоэффект под действием излучения, имеющего длину волны 0,45 мкм? (*Ответ*: возникнет.)

4. Вычислить энергию, массу и импульс фотона, длина волны которого 400 нм. (*Ответ*: $4{,}97 \cdot 10^{-19}$ Дж; $5{,}5 \cdot 10^{-36}$ кг; $1{,}65 \cdot 10^{-27}$ кг·м/с.)

Задачи на «4» балла

1. Какую максимальную скорость могут получить вылетевшие из калия электроны при облучении его фиолетовым светом с длиной волны 0,42 мкм? Работа выхода электронов для калия равна 2 эВ. (*Ответ*: 580 км/с.)

2. Какой длины волны следует направить лучи на поверхность цинка, чтобы максимальная скорость фотоэлектронов была равна 2000 тн/с? Красная граница фотоэффекта для цинка равна 0,35 мкм. (*Ответ*: 83 нм.)

Задачи на «5» баллов

1. Пучок лазерного излучения с длиной волны 0,33 мкм используется для нагревания 1 кг воды с удельной теплоемкостью 4200 Дж/кг·К. За какое время вода нагреется на 10 °С, если лазер ежесекундно испускает 10^{20} фотонов и все они поглощаются водой? (*Ответ*: 700 с.)

2. Незаряженный металлический шар емкостью 2 мкФ облучают монохромным светом с длиной волны 0,2 мкм. После прекращения облучения шар заземляют. Определить количество теплоты, выделившееся при заземлении. Работа выхода электронов из металла равна 1,8 эВ. (*Ответ*: 19,36 мкДж.)

3. Источник монохроматического света мощностью 64 Вт испускает ежесекундно 10^{20} фотонов, вызывающих фотоэффект на пластины с работой выхода электронов, равной 1,6 эВ. До какого потенциала зарядится пластина при длительном освещении? (*Ответ*: 2,4 В.)

4. Рентгеновская трубка, работающая под напряжением 50 кВ и потребляющая ток 2 мА. излучает $5 \cdot 10^{13}$ фотонов в секунду. Считая среднюю длину волны излучения равной 0,1 нм, определить, сколько процентов мощность излучения составляет от мощности потребляемого тока. (*Ответ*: 0,1 %.)

Задачи повышенной трудности

1. Фотон с длиной волны 300 нм вырывает с поверхности металла электрон, который описывает в однородном магнитном поле с индукцией 1 мТ окружность радиусом 3 мм. Найти в элекронвольтах работу выхода электрона из металла. (*Ответ*: 3, 33 эВ.)

2. Электрическая лампа мощностью 300 Вт излучает 1,2 % потребляемой энергии в виде света равномерно по всем направлениям. Сколько фотонов видимого света попадает за 1 с в зрачок человека, находящегося на расстоянии 1 м от лампы? Диаметр зрачка 4 мм, средняя длина волны 550 нм. (*Ответ*: 10^{13}.)

Домашнее задание

Р – 1126, Р – 1127.

Урок 107. Фотоэлементы и их применение

Цель: ознакомить учащихся с практическим применением фотоэффекта.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Изучение нового материала

Эксперимент

Собирается схема (рис. 96):

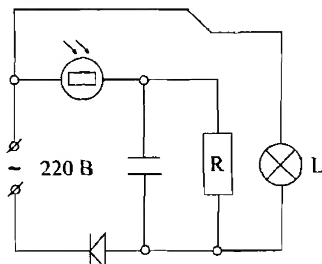


Рис. 96

Фотореле включить так, чтобы оно срабатывало при затемнении фотосопротивления. В качестве нагрузки включить электролампу. Если этой же лампой осветить фотосопротивление, то лампа будет периодически зажигаться и гаснуть. Объяснить явление.

(*Ответ*: Когда лампа *L* осветит фотосопротивление, через него пойдет ток, реле *r* разорвет цепь лампы *L* и она погаснет. Фотосопротивление затемнится, ток, текущий через него, прервется и якорь – реле, возвращаясь в исходное положение, замкнет цепь и т. д. Подобное устройство можно было бы, например, использовать для управления мигающими сфетосферами. Приборы, в основе принципа действия которых лежит явление фотоэффекта, называют фотоэлементами.)

Внешний фотоэффект

Испускание электронов с поверхности металлов под действием света.

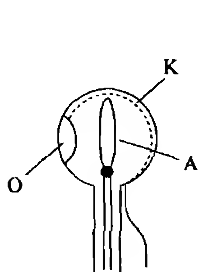


Рис. 97

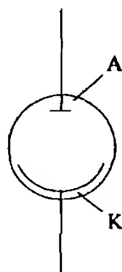


Рис. 98

А – анод. К – катод светочувствительный, О – окошко для доступа света.

Достоинство фотоэлемента: безинерциональность, фототок *I* пропорционален световому потоку *Ф*.

Недостаток фотоэлемента: слабый ток, малая чувствительность к длинноволновому излучению, сложность в изготовлении, не используется в цепях переменного тока.

Применение в технике:

1. Кино: воспроизведение звука.
2. Фототелеграф, фототелефон.
3. Фотометрия: для измерения силы света, яркости, освещенности.

Внутренний фотоэффект

Изменения концентрации носителей тока в веществе и как следствие изменение электропроводности.

Фоторезистор – устройство, сопротивление которого зависит от освещенности. Используется при автоматическом управлении электрическими цепями с помощью световых сигналов и в цепях переменного тока.

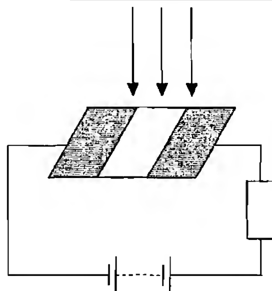


Рис. 99

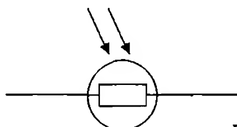


Рис. 100

Вентильный фотоэффект

Возникновение ЭДС под действием света в системе, содержащей контакт двух различных полупроводников. Используется в солнечных батареях, которые имеют КПД 12–16 % и применяются в искусственных спутниках Земли при получении энергии в пустыне. Принцип действия солнечной батареи: при поглощении кванта энергии $h\nu$ полупроводником освобождается дополнительная пара носителей (электрон и дырка), которые движутся в разных направлениях: дырки в сторону проводников p-типа, а электрон в сторону полупроводников n-типа. В результате образуется в полупроводнике n-типа избыток свободных электронов, а в полупроводнике p-типа – избыток дырок. Возникает разность потенциалов.

III. Вопросы для закрепления

- Что называется фотоэлементом?
- В чем суть явления внешнего фотоэффекта?
- Что называется внутренним фотоэффектом?
- Что такое фоторезистор? Каков его принцип действия? Как и где используется фоторезистор?

Домашнее задание

§ 91

Урок 108. Контрольная работа по теме «Волновые и квантовые свойства света»

Цель: выявить знания учащихся по теме «Волновые и квантовые свойства света».

Ход урока

Вариант I

1. Какова красная граница фотоэффекта для алюминия, если работа выхода электрона равна $6\cdot10^{-19}$ Дж? (*Ответ*: $3{,}3\cdot10^{-7}$ м.)

2. Определить энергию, массу и импульс фотона, длина волны которого 500 нм. (*Ответ*: $4\cdot10^{-19}$ Дж; $4,4\cdot10^{-36}$ кг.)

3. Работа выхода электрона из цезия равна $3\cdot10^{-19}$ Дж. Найдите длину волны падающего света на поверхность цезия, если скорость фотоэлектронов равна $0,6\cdot10^{6}$ м/с. (*Ответ*: 428 нм.)

4. На поверхность площадью 1,5 см^2 падает нормально монохроматический свет с длиной волны 663 нм. Свет полностью поглощается поверхностью. Определите, какой импульс передан поверхности, если за время 1 с на нее попало $2\cdot10^{18}$ фотонов. Какое давление оказывает свет на поверхность? (*Ответ*: $2\cdot10^{-9}$ Н·с; $13\cdot10^{-6}$ Па.)

5. На сколько градусов нагреется за 1 с капля воды массой 0,2 г, если она ежесекундно поглощает 10^{10} фотонов с длиной волны 750 нм? Потерями энергии пренебречь. (*Ответ*: $3,1\cdot10^{-9}$ К.)

Задача повышенной сложности

Протон движется со скоростью $7,7\cdot10^{6}$ м/с. На какое наименьшее расстояние может приблизиться этот протон к ядру атома алюминия? Влиянием электронной оболочки атома алюминия пренебречь. Масса протона $1,67\cdot10^{-27}$ кг. (*Ответ*: $6\cdot10^{-14}$ м.)

Вариант II

1. Какой частоты свет следует направить на поверхность лития, чтобы максимальная скорость фотоэлектронов была равна $2,5\cdot10^{6}$ м/с? Работа выхода электронов из лития 2,39 эВ. (*Ответ*: $4,87\cdot10^{15}$ Гц.)

2. Найти энергию, массу и импульс фотона для инфракрасных лучей ($\nu = 10^{12}$ Гц). (*Ответ*: $6,6\cdot10^{-22}$ Дж; $7,3\cdot10^{-39}$ кг.)

3. Фотоэффект у данного металла начинается при частоте света $6\cdot10^{14}$ Гц. Рассчитайте частоту излучения, падающего на поверхность металла, если вылетающие с поверхности электроны полностью задерживаются разностью потенциалов 3 В. (*Ответ*: $1,32\cdot10^{15}$ Гц.)

4. Сколько фотонов видимого света с длиной волны 560 нм излучает лампа мощностью 40 Вт в 1 с, если ее тепловая отдача составляет 5 %? (*Ответ*: $56\cdot10^{17}$.)

5. Медный шарик, удаленный от других тел, облучается монохроматическим излучением, длина волны которого $2\cdot10^{-7}$ м. До какого максимального потенциала зарядится шарик, если работа выхода электронов с поверхности меди равна 4,5 эВ? (*Ответ*: 1,7 В.)

Задача повышенной трудности

Одна из пластин незаряженного плоского конденсатора освещается рентгеновскими лучами, вырывающими из нее электроны со скоростью 10^{6} м/с. Электроны собираются на второй пластине. Через какое время фотопоток между пластинами прекратится, если с каж-

дого квадратного сантиметра площади вырываются ежесекундно 10^{13} электронов? Расстояние между пластинами – 10 мм. (*Ответ*: $1{,}57 \cdot 10^{-7}$ с.)

Домашнее задание

п. 88; 91.

Урок 109. Давление света

Цель: рассмотреть давление света как экспериментальное доказательство, что фотоны обладают импульсом.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение

– В чем состоит различие между внешним и внутренним фотоэффектом?
– От чего зависит чувствительность фотоэлемента к падающему на него свету?
– Какие фотоэлементы используются в цепи переменного тока?
– При какой длине волны излучения масса фотона равна массе покоя электрона?

III. Изучение нового материала

В 1873 г. Дж. Максвелл, исходя из представлений об электромагнитной природе света, пришел к выводу – свет должен оказывать давление на препятствие.

Под действием электрического поля волны электрона в телах совершают колебания. Образуется электрический ток. Ток направлен вдоль напряженности электрического поля. На движущиеся электроны действует сила Лоренца со стороны магнитного поля. Сила Лоренца в сторону распространения волны это и есть сила светового давления. Для доказательства необходимо измерить это давление.

Многие ученые пытались это сделать, но безуспешно, так как оно очень мало. Впервые это удалось в 1900 г. русскому ученому П. Н. Лебедеву (1866–1912). Прибор состоял из очень легкого стержня на тонкой стеклянной нити, по краям приклеены легкие крылышки. Весь прибор помещен в сосуд, из которого был выкачан воздух. Свет падал на крылышки. О значении давления можно судить по углу закручивания нити.

Трудности:

1. Невозможность выкачать из сосуда весь воздух.

2. На закручивание влияет неодинаковый нагрев крылышек.

3. Отражение молекул от более нагретой стороны, передают крылышку больший импульс, чем молекулы, отражающиеся от менее нагретой стороны.

Лебедев сумел преодолеть все трудности. Полученное значение совпало с предсказанным Максвеллом. Впоследствии, после трех лет работы Лебедеву удалось осуществить еще более тонкий эксперимент: измерить давление света на газы. Появление квантовой теории света позволило более просто объяснить причину светового давления.

Падая на тело, фотоны поглощаются или отражаются. Фотоны обладают массой и импульсом. При поглощении света импульсы фотонов передаются телу. Поэтому оно испытывает давление со стороны света. При отражении света направление скорости и импульса каждого фотона меняется на противоположное. При этом тело приобретает импульс, равный изменению суммарного импульса фотонов. Происходит явление отдачи. Тело испытывает световое давление. Давлением света на газы объясняется образование «хвостов».

Лебедев писал:

«1. Падающий пучок света производит давление как на поглощающие, так и на отражающие поверхности: эти кондеромоторные силы не связаны с уже известными вторичными конвекционными и радиометрическими силами, вызываемыми нагреванием.

2. Силы давления света прямо пропорциональны энергии падающего света и не зависят от цвета.

3. Наблюдаемые силы давления света в пределах погрешностей наблюдений, количественно равны максвелл-бартолиевым силам давления лучистой энергии».

Опыты П. Н. Лебедева – экспериментальное доказательство факта: фотон обладает импульсом.

IV. Закрепление изученного материала

– Как на основе электромагнитной теории объясняют давление света?
– Расскажите об опыте П. Н. Лебедева по измерению светового давления.
– Чему равна сила давления, приходящаяся на 1 $м^2$?
– Как объяснить световое давление на основе квантовых представлений о свете?

V. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 92.

Дополнительный материал

Петр Николаевич Лебедев

Петр Николаевич Лебедев родился 8 марта 1866 года в Москве, в купеческой семье. Грамоте Петя обучался дома. Его отдали в коммерческое отделение Евангелического церковного училища Петра и Павла. С сентября 1884 по март 1887 года Лебедев посещал Московское высшее техническое училище, однако деятельность инженера его не привлекала. Он отправился в 1887 году в Страсбург, в одну из лучших физических школ Европы, школу Августа Кундта. В 1891 году, успешно защитив диссертацию, Лебедев стал доктором философии.

В 1891 году Лебедев возвратился в Москву и по приглашению А. Г. Столетова начал работать в Московском университете в должности лаборанта. Исследование светового давления стало делом всей жизни Петра Николаевича. Основные физические идеи этого плана были напечатаны молодым ученым в Москве, в небольшой заметке «Об отталкивательной силе лучеиспускающих тел». Из теории Максвелла следовало, что световое давление на тело равно плотности энергии электромагнитного поля. Лебедев создает свою знаменитую установку – систему легких и тонких дисков на закручивающемся подвесе. Платиновые крылышки подвеса были взяты толщиной всего 0,1–0,01 мм, что приводило к быстрому выравниванию температуры. Вся установка была помещена в наивысший достижимый в то время вакуум. В стеклянном баллоне, где находилась установка, Лебедев помещал каплю ртути и слегка подогревал ее. Ртутные пары вытесняли воздух, откачиваемый насосом. А после этого температура в баллоне понижалась, и давление оставшихся ртутных паров резко уменьшалось.

Предварительное сообщение о давлении света было сделано Лебедевым в 1899 году, затем о своих опытах он рассказал в 1900 году в Париже на Всемирном конгрессе физиков. В 1901 году в немецком журнале «Анналы физики» была напечатана его работа «Опытное исследование светового давления». Из факта существования давления электромагнитных волн следовал вывод о том, что они обладают механическим импульсом, а значит, и массой. Итак, электромагнитное поле обладает импульсом и массой, то есть оно материально, значит, материя существует не только в форме вещества, но и в форме поля.

В 1900 году при защите магистерской диссертации Лебедеву была присуждена степень доктора наук, минуя степень магистра. В 1901 году он становится профессором Московского университета. В 1902 году Лебедев выступил на съезде немецкого астрономического общества с докладом, в котором вновь вернулся к вопросу о космической роли светового давления. На его пути оказались трудности не только экспериментальною, но и теоретического характера. Трудности экспериментального плана состояли в том, что световое давление на газы во много раз меньше, чем давление на твердые тела. К 1900 году все подготовительные работы для решения сложнейшей задачи были выполнены. Только в 1909 году он делает первое сообщение о полученных результатах. Они были опубликованы в «Анналах физики» в 1910 году.

Кроме работ, связанных со световым давлением, Петр Николаевич много сделал для изучения свойств электромагнитных волн. Статья Лебедева «О двойном преломлении лучей электрической силы» появилась одновременно на русском и немецком языках. Усовершенствовав метод Герца, Лебедев получил самые короткие в то время электромагнитные волны длиной в 6 мм, в опытах Герца они были 0,5 м, и доказал их двойное лучепреломление в анизотропных средах. Следует заметить, что приборы ученого были настолько малы, что их можно было носить в кармане.

В последние годы жизни его внимание привлекла проблема ультразвука. В 1911 году Лебедев вместе с другими профессорами покинул Московский университет в знак протеста против действий реакционного министра просвещения Кассо. В этом же году Лебедев дважды получал приглашения из института Нобеля в Стокгольме, где ему предлагали должность директора лаборатории и материальные средства. Был поставлен вопрос о присуждении ему Нобелевской премии. Однако Петр Николаевич остался на родине, со своими учениками. Отсутствие необходимых условий для работы, переживания, связанные с уходом в отставку, окончательно подорвали здоровье Лебедева. Он умер 1 марта 1912 года в возрасте всего лишь сорока шести лет.

Интересный факт

Интересный случай произошел с американским спутником «Эхо». После выхода спутника на орбиту сжатым газом была наполнена большая полиэтиленовая оболочка. Образовался легкий шар диаметром около 30 м. Неожиданно выяснилось, что за один оборот этот шар давлением солнечных лучей смещается с орбиты на 5 м. В результате вместо 20 лет, как было спланировано, спутник удержался на орбите меньше года. Внутри звезд при температуре в несколько десятков миллионов кельвинов давление электромагнитного излучения должно достигать громадного значения. Силы светового давления наряду с гравитационными силами играют существенную роль во внутризвездных процессах.

Урок 110. Химическое действие света

Цель: познакомить учащихся с фотосинтезом и фотографией.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Проверка домашнего задания

- Как объясняет световое давление квантовая теория света?
- Кто предсказал существование светового давления и кто его измерил?
- Чему равна энергия фотона с частотой *d*?
- Почему хвост кометы направлен всегда в сторону, противоположную сторону Солнцу?

III. Изучение нового материала

Фотохимия изучает химические реакции, которые протекают под действием света (при его поглощении). Фотохимические процессы лежат в основе фотографии, фотосинтеза и механизма зрения. Химическое действие света является еще одним доказательством квантовой теории света.

Эксперимент 1

Фотобумага освещается пучком света. Через некоторое время бумага темнеет.

Эксперимент 2

В сосуд с водой помещают зеленое растение, которое накрывают стеклянной воронкой. На последнюю надевают резиновую трубку, конец которой закрывают зажимом. Сосуд выставляют на свет. Через некоторое время листья на свету покрываются пузырьками газа, которые всплывают и собираются в узкой части воронки. К концу резиновой трубки подносят тлеющую лучину, и затем зажим расслабляют. Лучина воспламеняется. Этот газ – кислород. В темноте это явление не имеет места.

Фотографический процесс

Процесс получения фотографии состоит из четырех операций: фотосъемка, проявление пленки, ее закрепление, фотопечать.

Фотосъемка – получение действительного изображения объекта в светочувствительном слое фотопленки. Фотоэмульсия: желатин, мелкие зерна $AgBr$. Квант энергии hd отрывает электроны от некоторых ионов брома, которые захватываются ионами серебра. В зернах $AgBr$ образуются нейтральные атомы, количество которых пропорционально освещенности пленки. Эти атомы образуют скрытое изображение объекта съемки.

Проявление пленки. Проявитель гидрохитон или метон восстанавливает бромистое серебро в свободное металлическое серебро. В процессе закрепления в растворе тиосульфата натрия $Na_2S_2O_3$ происходит удаление из фотослоя всех светочувствительных зерен солей серебра, не успевших разложиться. Закрепление завершается промывкой пленки в воде.

Фотопечать – перенос изображения с фотопленки на светочувствительную фотобумагу. Негативное изображение с фотопленки проецируется на фотобумагу, где образуется скрытое позитивное изображение. Затем эту фотобумагу с изображением проявляют, фиксируют, промывают, сушат и получают фотографию объекта.

Наибольшее значение имеет химический процесс, который разыгрывается под действием света в зеленых частях растений. Как известно, дыхание всех живых существ сопровождается окислением углерода, входящего в состав их тела. Сгорание углерода в углекислоту (CO_2) сопровождается освобождением энергии, которая и используется животными при их движении. Точно так же главный источник энергии, используемый в технике, это процесс сжигания топлива, то есть опять-таки процесс образования CO_2. Обратный процесс расщепления CO_2 происходит в зеленых частях растений под действием солнечного света, как фотохимический процесс. Расщепление углекислоты сопровождается дальнейшими химическими превращениями, приводящими, в конце концов, к образованию тех основных органических соединений, из которых построено тело растений и животных. Наряду с этим процессом, идущим в природе в гигантских масштабах, известно и множество других фотохимических превращений. Например, выцветание многих красок, состоящих в окислении этих красок кислородом воздуха под действием света. Покрасив раствором некоторой краски (цианина) слой желатина, мы можем сохранять такую окрашенную пластинку довольно долго. Но если направить на нее интенсивный пучок света (от Солнца или дугового фонаря), то пластинка в тех местах, куда падает свет, выцветает так быстро, что эти участки становятся бесцветными на глазах. Отбеливание холста, растянутого на солнцепеке, по существу представляет собой фотохимическое выцветание. Многие фотохимические процессы в настоящее время используются в технике для ускоренного получения тех или иных веществ. Большинство таких процессов идет особенно энергично под действием коротковолнового ультрафиолетового света.

IV. Закрепление изученного материала

- В чем проявляется химическое действие света?
- Какие реакции называются фотохимическими? Приведите примеры.
- Что способствует обеспечению круговорота углерода и кислорода в природе?
- Что называется фотосинтезом?
- Какова его роль в жизни Земли?
- Что представляет собой чувствительный слой фотопластинки?
- Опишите все операции процесса получения фотоснимка.
- Каково значение фотографии?

V. Подведение итогов урока

Дополнительный материал

Фотохимическая теория зрения

Зрительное ощущение человека и животных связано с фотохимическими процессами. Свет, достигая сетчатки, поглощается светочувствительным веществом. Механизм разложения этих веществ и последующего их восстановления пока не выяснен, но установлено, что продукты разложения вызывают раздражение зрительного нерва. В результате чего по нерву проходят электрические импульсы в головной мозг, и возникают ощущение света.

Поскольку зрительный нерв имеет разветвления по всей поверхности сетчатки, то характер раздражения зависит от того, в каких местах сетчатки произошло фотохимическое разложение. Раздражение зрительного нерва позволяет судить о характере изображения на сетчатке, и, следовательно, о картине во внешнем пространстве, которая является источником этого изображения. Мы вполне отчетливо видим предметы, освещенные ярким солнцем, равно как те же предметы при умеренном вечернем освещении. Эта способность глаза приспосабливаться к весьма широкому диапазону яркостей носит название адаптация.

При слишком переходе к яркому свету глаз слепнет на время или навсегда – в зависимости от тяжести ослепления. Временная потеря зрения хорошо известна автомобилистам при ослеплении фарами встречных автомашин. Разложившее вещество раздражает зрительный нерв в течение некоторого времени примерно 1/7 секунды. Поэтому возникшее зрительное ощущение сохраняется в течение этого времени, хотя бы само раздражение и было очень кратковременным. Эта способность глаза используется в различных приспособлениях. Самое известное их них кинематограф.

Домашнее задание

§ 93.

Глава 12. Атомная физика

Урок 111. Строение атома. Опыты Резерфорда

Цель: познакомить учащихся с ядерной моделью атома.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Изучение нового материала

Гипотеза о том, что все вещества состоят из большого числа атомов, зародилась свыше двух тысячелетий тому назад. Сторонники атомической теории рассматривали атом как мельчайшую неделимую частицу и считали, что все многообразие мира есть не что иное, как сочетание неизменных частиц – атомов.

Позиция Демокрита: *«Существует предел деления – атом»*.
Позиция Аристотеля: *«Делимость вещества бесконечна»*.

Конкретные представления о строении атома развивались по мере накопления физикой фактов о свойствах вещества. Открыли электрон, измерили его массу и заряд. Мысль об электронном строении атома, впервые высказанную В. Вебером в 1896 году, развил Л. Лоренц. Именно он создал электронную теорию: электроны входят в состав атома.

В начале века в физике бытовали самые разные и часто фантастические представления о строении атома. Например, ректор Мюнхенского университета Фердинанд Линдеман в 1905 г. утверждал, что «атом кислорода имеет форму кольца, а атом серы – форму лепешки». Продолжала жить и теория «вихревого атома» лорда Кельвина, согласно которой, атом устроен подобно кольцам дыма, выпускаемым изо рта опытным курильщиком.

Опираясь на открытия, Дж. Томсон в 1898 г. предложил модель атома в виде положительно заряженного шара радиусом 10^{-10} м, в котором «плавают» электроны, нейтрализующие положительный заряд. Большинство физиков склонялось, что прав Дж. Томсон.

Однако в физике уже более 200 лет принято правило: окончательный выбор между гипотезами вправе сделать только опыт. Такой опыт поставил в 1909 г. Эрнест Резерфорд (1871–1937) со своими сотрудниками.

Пропуская пучок α-частиц (заряд +2е, масса $6{,}64 \cdot 10^{-27}$ кг) через тонкую золотую фольгу, Э. Резерфорд обнаружил, что какая-то из частиц отклоняется на довольно значительный угол от своего первоначального направления, а небольшая часть α-частиц отражается от фольги. Но, согласно модели атома Томсона, эти α-частицы при взаимодействии с атомами фольги должны отклоняться на малые углы, порядка 2°. Однако несложный расчет показывает: чтобы объяснить даже такие небольшие отклонения, нужно допустить, что в атомах фольги может возникать огромное электрическое поле напряженностью свыше 200 кВ/см. В полиэтиленовом шаре Томсона таких напряжений быть не может. Столкновения с электронами тоже не в счет. Ведь по сравнению с ними, α-частица, летящая со скоростью 20 км/с, все равно, что пушечное ядро с горошиной.

В поисках разгадки Резерфорд предложил Гейгеру и Марсдену проверить: «а не могут ли α-частицы отскакивать от фольги назад».

Прошло два года. За это время Гейгер и Марсден сосчитали более миллиона сцинтилляций и доказали, что назад отражается примерно одна α-частица из 8 тысяч.

Резерфорд показал, что модель Томсона находится в противоречии с его опытом. Обобщая результаты своих опытов, Резерфорд предложил ядерную (планетарную) модель строения атома:

1. Атом имеет ядро, размеры которого малы по сравнению с размерами самого атома.

2. В ядре сконцентрирована почти вся масса атома.

3. Отрицательный заряд всех электронов распределен по всему объему атома.

Расчеты показали, что α-частицы, которые взаимодействуют с электронами в веществе, почти не отклоняются. Только некоторые α-частицы проходят вблизи ядра и испытывают резкие отклонения.

Если $F = \frac{q_z \cdot q_\alpha}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$ или потенциальная энергия системы α-частицы – ядро.

$$W = -\frac{q_\alpha \cdot q_я}{4\pi\varepsilon_0 r}$$

или $\frac{m\alpha v_\alpha^2}{2} \leq \frac{q_\alpha \cdot q_я}{4\pi\varepsilon_0 r}$, то α-частица будет отброшена назад.

При расчете учитывают, что $q_\alpha = 2e$, где e – заряд электрона: $q_я = Ze$; Z – зарядовое число, равное количеству электронов в атоме; диаметр ядра 10^{-14}–10^{-15} м, атома 10^{-10} м.

Сообщение Резерфорда физики приняли сдержанно. Сам он в течение двух лет также не очень сильно настаивал на своей модели, хотя и был уверен в безошибочности опытов, которые к ней привели. Причина была следующая.

Если верить электродинамике, такая система существовать не может, поскольку электрон, вращающийся по ее законам, неизбежно и очень скоро упадет на ядро. Приходилось выбирать: либо электродинамика, либо планетарная модель атома. Физики молча выбрали первое. Молча, потому что нельзя было ни забыть, ни опровергнуть опыты Резерфорда. Физика атома зашла в тупик.

III. Закрепление материала

– В чем заключается сущность модели Томсона?
– Начертите и объясните схему опыта Резерфорда по рассеиванию α-частиц. Что наблюдаем в этом опыте?
– Объясните причину рассеивания α-частиц атомами вещества?
– В чем сущность планетарной модели атома?

IV. Подведение итогов урока

Дополнительный материал

Эрнест Резерфорд

Английский физик Эрнест Резерфорд родился в Новой Зеландии, неподалеку от г. Нельсона. Он был одним из 12 детей колесного мастера и строительного рабочего Джеймса Резерфорда, шотландца по происхождению, и Марты (Томпсон) Резерфорд, школьной учительницы из Англии. Сначала Резерфорд посещал начальную и среднюю местные школы, а затем стал стипендиатом Нельсон-колледжа, частной высшей школы, где проявил себя талантливым студентом, особенно по математике. Благодаря успехам в учебе Резерфорд получил еще одну стипендию, которая позволила ему поступить в Кентербери-колледж в Крайстчерче, одном из крупнейших городов Новой Зеландии.

В колледже на Резерфорда оказали большое влияние его учителя: преподававший физику и химию Э.У. Бикертон и математик Дж. Кук. После того как в 1892 г. Резерфорду была присуждена степень бакалавра гуманитарных наук, он остался в Кентербери-колледже и продолжил свои занятия благодаря полученной стипендии по математике. На следующий год он стал магистром гуманитарных наук, лучше всех сдав экзамены по математике и физике.

В 1894 г. Резерфорду была присуждена степень бакалавра естественных наук. Затем Резерфорд в течение недолгого времени преподавал в одной из мужских школ Крайстчерча. Благодаря своим необыкновенным способностям к науке Резерфорд был удостоен стипендии Кембриджского университета в Англии, где он занимался в Кавендишской лаборатории, одном из ведущих мировых центров научных исследований.

В Кембридже Резерфорд работал под руководством английского физика Дж.Дж. Томсона. На Томсона произвело глубокое впечатление, проведенное Резерфордом исследование радиоволн, и он в 1896 г. предложил совместно изучать воздействие рентгеновских лучей (открытых годом ранее Вильгельмом Рентгеном) на электрические разряды в газах. Их сотрудничество увенчалось весомыми результатами, включая открытие Томсоном электрона – атомной частицы, несущей отрицательный электрический заряд. Опираясь на свои исследования, Томсон и Резерфорд выдвинули предположение, что когда рентгеновские лучи проходят через газ, они разрушают атомы этого газа, высвобождая одинаковое число положительно и отрицательно заряженных частиц. Эти частицы они назвали ионами. После этой работы Резерфорд занялся изучением атомной структуры.

В 1898 г. Резерфорд принял место профессора Макгиллского университета в Монреале (Канада), где начал серию важных экспериментов, касающихся радиоактивного излучения элемента урана. Вскоре он открыл два вида этого излучения: испускание альфа-лучей, проникающих только на короткое расстояние, и бета-лучей, которые проникают на значительно большее расстояние. Затем Резерфорд обнаружил, что радиоактивный торий испускает газообразный радиоактивный продукт, который он назвал «эманация» (от лат. «emanatio» – истечение).

Кстати, за открытие альфа и бета излучения он получил Нобелевскую премию по химии. В своей речи при получении премии он язвительно сказал: «Мне приходилось иметь дело с весьма различными трансмутациями во

времени, но быстрейшая из всех, какие я встречал, это мое собственное превращение из физика в химика – оно произошло в одно мгновение». Возможно это произошло из-за того, что само понятие атом принадлежало словарю и физиков и химиков, хотя ни те ни другие еще не умели его расшифровать.

Однако главная его заслуга в открытии строения атома.

Урок 112. Квантовые постулаты Бора. Трудности теории Бора

Цель: сформировать представление о квантовой механике.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение изученного материала

- Какие физические явления подтверждают ионное строение атома? О наличии каких частиц, входящих в состав атома, свидетельствуют эти явления?
- Опишите модель атома Томсона. Почему эта модель атома оказалась несостоятельной?
- Нарисуйте схему установки Резерфорда для опытов по рассеянию α-частиц. К каким выводам привели эти опыты? Какова причина рассеяния α-частиц атомами вещества?
- Расскажите о планетарной модели атома Резерфорда. В чем ее достоинства и недостатки?
- Какие экспериментальные доказательства служат в пользу того, что модель атома ядерная?
- Какие экспериментальные факты невозможно объяснить, исходя из ядерной модели атома Резерфорда?

III. Изучение нового материала

Модель, предложенная Резерфордом, не позволила объяснить устойчивость атома.

Ускоренное движение электрона согласно теории Максвелла сопровождается электромагнитным излучением, поэтому энергия электрона уменьшается, и он движется по спирали, приближаясь к ядру. Казалось бы, электрон должен упасть на ядро, так как при движении по спирали уменьшается энергия электрона. В действительности атомы являются устойчивыми системами.

Выход из этого затруднения был предложен Н. Бором. В основе его теории лежат следующие постулаты:

1. Атомная система может находиться только в особых стационарных квантовых состояниях, каждому из которых соответствует определенная энергия E_n. В стационарном состоянии атом не излучает.

2. При переходе атома из стационарного состояния с большей энергией E_k в стационарное состояние с меньшей энергией E_n излучается квант энергии:

$$h\nu_{kn} = E_k - E_n; \quad \nu_{kn} = \frac{E_k - E_n}{h}.$$

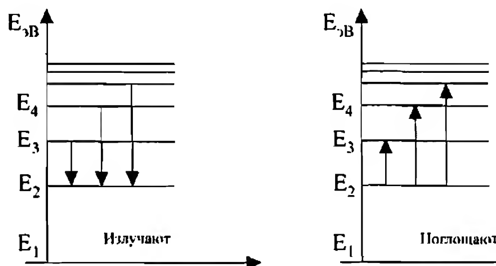


Рис. 101

Второй постулат противоречит электродинамике Максвелла, так как согласно этому постулату, частота излученного света свидетельствует не об особенности движения электрона, а лишь об изменении энергии атома.

Бор рассматривал простейшие круговые орбиты:

$W_p = -\frac{e^2}{r^2}$, где e – модуль заряда электрона; r – расстояние от электрона до ядра.

Согласно механике Ньютона полная энергия равна:

$$\frac{m\upsilon^2}{2} - \frac{e^2}{r^2}.$$

Кулоновская сила сообщает электрону центростремительное ускорение:

$$\frac{m\upsilon^2}{r} = \frac{e^2}{r^2} \text{ или } mr\upsilon^2 = e^2.$$

По классической механике радиус орбит может быть любым, следовательно, любые значения может принимать и энергия.

$$E = -\frac{e^2}{2r}.$$

По постулату Бора энергия может быть только определенного значения E_n.

При движении электрона по круговой орбите модуль его импульса $m\upsilon$ и радиус остаются неизменными.

$m\upsilon r$ – момент импульса. Это совпадает с постоянной Планка по наименованиям:

$$Дж \cdot с = \frac{кг \cdot м}{с} \cdot м .$$

Бор предположил, что $m\upsilon r = n\hbar$, где n = 1, 2, 3. Это и есть правило квантования:

$$mr\upsilon^2 = e^2 \text{ и } m\upsilon r = n\hbar .$$

Получаем $r_n = \dfrac{\hbar n^2}{me^2}$.

Радиусы орбит меняются дискретно числам n.

Наименьшая орбита:

$r_1 = 5 \cdot 10^{-9}$ см.

Это и есть радиус атома. Теория Бора дает для него правильное значение.

Согласно второму постулату Бора, возможные частоты излучения атома водорода определяются формулой:

$$\nu_{kn} = \frac{E_k - E_n}{h} = \frac{me^4}{4\pi\hbar}\left(\frac{1}{h^2} - \frac{1}{k^2}\right) = R\left(\frac{1}{h^2} - \frac{1}{k^2}\right),$$

где $R = \dfrac{me^4}{4\pi\hbar}$ – постоянная величина.

Переходы в первое возбужденное состояние (на второй энергетический уровень) с верхних уровней образуют серию Больмера.

Поглощение света – процесс, обратный излучению. Атом, поглощая свет, переходит из низших энергетических состояний в высшие. При этом он поглощает излучение той же самой частоты, которую излучает, переходя из высших энергетических состояний в низшие.

Однако построить количественную теорию для следующего за водородом атома гелия на основе боровских представлений не удалось. Это неудивительно, так как теория Бора была половинчатой.

С одной стороны, используется закон Кулона и механика Ньютона, а с другой – вводятся квантовые постулаты. Введение в физику квантовых представлений требовало радикальной перестройки механики и электродинамики. Эта перестройка была осуществлена, когда были созданы новые физические теории: квантовая механика и квантовая электродинамика.

Постулаты Бора оказались совершенно правильными. Правило же квантования Бора, как выяснилось, применимо далеко не всегда.

IV. Закрепление изученного материала

- Сформулируйте первый постулат Бора – постулат стационарных состояний.
- Какие затруднения вызвала планетарная модель Резерфорда для объяснения процессов излучения энергии атомами?
- Каким путем Бор вышел из этого положения?
- Запишите и сформулируйте второй постулат Бора.
- Запишите и сформулируйте правило квантования круговых орбит.

V. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 95; 96.

Дополнительный материал

Теория Бора глазами современников

«Если это правильно, то это означает конец физики как науки» (А. Эйнштейн, 1913 г.)

«Теория квантов подобна другим победам в науке: месяцами вы улыбаетесь им, а затем годами плачете» (Г. Крамерс, 1920 г.)

«Теорию квантов можно сравнить с лекарством, излечивающим болезнь, но убивающим больного» (Г. Крамерс, X. Гольст, 1923 г.)

«Все это очень красиво и крайне важно, но, к сожалению, не очень понятно. Мы не понимаем ни гипотезы Планка об осцилляторах, ни запрета нестационарных орбит, и мы не понимаем, как же, в конце концов, образуется свет согласно теории Бора. Не подлежит сомнению, что механику квантов, механику дискретного, еще предстоит создать» (Г.-А. Лоренц, 1927 г.).

«Физика теперь снова зашла в тупик, во всяком случае, для меня она слишком трудна, и я предпочел бы быть комиком в кино или кем-нибудь вроде этого и не слышать ничего о физике» (В. Паули, 1925 г.)

Отто Штерн вспоминал много лет спустя, что в то время они с Лауэ поклялись оставить занятие физикой, если «в этой боровской бессмыслице хоть что-то есть».

Лоренц сетовал, что не умер пятью годами ранее, когда в физике еще сохранялась относительная ясность.

Даже у Бора создавшееся положение теории вызывало «чувство грусти и безнадежности».

Квантовая физика родилась в лоне европейской культуры, а люди, ее создавшие, – лучшие ее представители. Эйнштейн, Борн, Гейзенберг, Эренфест, Лауэ были превосходными музыкантами, а Планк даже читал в университете лекции по теории музыки и в юности намеревался стать профессиональным пианистом. (Он руководил так же хором, в котором пел Отто Ган, тридцать лет спустя открывший деление урана.)

Гейзенберг, Паули, Лауэ, Шрёдингер владели древними языками, Луи де Бройль – по профессии историк, а Шредингер был глубоким знатоком фило-

софии и религии, особенно индийской, писал стихи и в конце жизни издал свой поэтический сборник.

Даже в научной переписке План и Зоммерфельд обменивались стихами. В те годы в Копенгагене в институте Бора создавалась не только наука об атоме – там выросла интернациональная семья молодых физиков. Среди них были Краменс, Гаудсмит и Резенфельд – из Голландии, Клейн – из Швеции, Дирк – из Англии, Гейзенберг – из Германии, Бриллюэн – из Франции, Паули – из Австрии, Нишина – Японии, Уленбек – из Америки, Гамов и Ландау – из России.

Через много лет политические бури разбросали их по всему миру: Гейзенберг стал главой немецкого «уранового проекта»; Нишина возглавил японскую урановую программу; сам Нильс Бор, спасаясь от нацистов, оказался в американском центре атомных исследований – Лос-Аламосе. А Гаудсмит стал руководителем миссии «Алсос», которая будет признана выяснить, что успел сделать Гейзенберг для постройки немецкой атомной бомбы.

Этих людей уже нет в живых. Шредингер умер в 1961 г., Бор – в 1962 г., Борн – в 1970 г., Гейзенберг – в 1976 г., Дирак – в 1985 г., де Броль – в 1987 г.

Урок 113. Лазеры

Цель: на примере лазера показать как развитие фундаментальной науки (квантовой теории) приводит к прогрессу в самых различных областях техники.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Проведение самостоятельной работы

Вариант I

1. Какая формула была выведена экспериментально Бальмером для спектра водорода?

(*Ответ:* $\left[\frac{1}{\lambda}=R\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{R^2}\right)\right]$.)

2. Наименьший радиус орбиты электрона в невозбужденном атоме водорода $r_1=5,28\cdot10^{-11}$ м. Определите радиус орбиты электрона в атоме водорода, когда электрон находится на третьем энергетическом уровне.

(*Ответ:* $4,75\cdot10^{-10}$ м.)

3. Энергия атома водорода в нормальном состоянии $E_1=-13,53$ эВ. Определите энергию кванта, поглощенного атомом водорода, если электрон перешел с первого энергетического уровня на третий.

Энергия электрона на n-й орбите стационарного состояния атома водорода: $E_n = \frac{E_1}{n^2}$.

(*Ответ:* 12,02 эВ.)

4. Определите длину волны электромагнитного излучения атома водорода при переходе электрона с пятого энергетического уровня на второй. Постоянная Ридберга R = 109737,31 см$^{-1}$.

(*Ответ:* $4{,}37 \cdot 10^{-7}$ м.)

5. Электрон, связанный с атомом, при переходе с более удаленной на менее удаленную от ядра атома орбиту в момент перехода...

(*Ответ:* излучает энергию.)

6. Определите минимальную энергию возбуждения атома водорода, если его энергия в нормальном состоянии $E_1 = -13{,}53$ эВ.

(*Ответ:* 3,39 эВ.)

7. С ростом главного квантового числа n (энергетического уровня атома) энергия стационарного состояния атома ...

(*Ответ:* увеличивается.)

8. Электрон в атоме водорода перешел с пятого энергетического уровня на второй. Как при этом изменилась энергия атома?

(*Ответ:* уменьшилась.)

9. Какое утверждение было бы справедливо, если бы движение электрона в атоме подчинялось законам классической динамики? 1) При движении вокруг ядра электрон должен непрерывно излучать электромагнитные волны; 2) Через короткое время электрон должен упасть на ядро; 3) Частота электромагнитных волн, испускаемых атомом, должна быть равна частоте обращения электрона вокруг ядра.

(*Ответ:* Через короткое время электрон должен упасть на ядро.)

10. Что с точки зрения планетарной модели атома Резерфорда удерживает электроны и не позволяет им разлетаться?

(*Ответ:* кулоновские силы.)

Вариант II

1. Какую формулу предложил Бальмер для определения длины волны, испускаемой атомом водорода?

(*Ответ:* $\left[\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{R^2}\right)\right]$.)

2. Наименьший боровский радиус орбиты электрона в невозбужденном атоме водорода $r_1 = 5{,}28 \cdot 10^{-11}$ м. Определите радиус орбиты электрона, когда атом водорода находится на пятом энергетическом уровне.

(*Ответ:* $132 \cdot 10^{-11}$ м.)

3. Энергия атома водорода в нормальном состоянии $E_1 = -13{,}53$ эВ. Определите энергию кванта, поглощенного атомом водорода, если электрон перешел с первого энергетического уровня на второй. Энергия электрона на n-й орбите стационарного состояния атома водорода: $E_n = \frac{E_1}{n^2}$.

(*Ответ:* 10,147 эВ.)

4. Определите длину волны электромагнитного излучения атома водорода при переходе электрона с четвертого энергетического уровня на второй. Постоянная Ридберга $R = 10973{,}31$ см$^{-1}$.

(*Ответ:* 0,49 мкм.)

5. Электрон, *связанный с атомом, при переходе со второй орбиты* на четвертую …

(*Ответ:* поглощает энергию.)

6. Определите минимальную энергию кванта, поглощенного атомом водорода, если при этом электрон перешел с первого на третий энергетический уровень. Энергия первого энергетического уровня $E_1 = -13{,}53$ эВ.

(*Ответ:* 12,02 эВ.)

7. Состояние атомов, соответствующее всем разрешенным энергетическим уровням, кроме низкого, называется…

(*Ответ:* возбужденным.)

8. Электрон в атоме водорода перешел с первого энергетического уровня на третий. Как при этом изменилась энергия атома?

(*Ответ:* увеличилась.)

9. Если бы движение электрона в атоме подчинялось законам классической электродинамики, то какое утверждение было бы неверным?

(*Ответ:* в стационарном состоянии атом энергию не излучает.)

10. Электрон и протон движутся с одинаковой скоростью. Какой из этих частиц соответствует меньшая энергия?

(*Ответ:* электрону.)

III. Изучение нового материала

В 1917 г. Эйнштейн предсказал возможность индуцированного (вынужденного) излучения света атомами. Под индуцированным излучением понимается измерение возбужденных атомов под действием падающего на них света.

Еще в 1940 г. советский физик А. Фабрикант указал на возможность использования явления вынужденного излучения для усиления электромагнитных волн.

В 1954 г. советские ученые Н. Г. Басов и А. М. Прохоров и независимо от них американский физик Ч. Таунс использовали явление для создания микроволнового генератора радиоволн. За разработку нового принципа генерации и усиления радиоволн Н. Г. Басов, А. М. Прохоров и Ч. Таунс в 1964 г. были удостоены Нобелевской премии.

В 1960 г. Т.Г. Мейнапом в США был создан первый лазер – квантовый генератор электромагнитных волн в видимом диапазоне спектра.

Путем внешнего освещения возбужденные электроны из состояний E_2 и E_3 переходят в состояние E_1, которое является рабочим состоянием лазера. Лазерное излучение может быть различного цвета.

Рубиновый лазер генерирует пучок фотонов (λ = 694 нм) рубиново-красного света.

Устройство рубинового лазера

Рубиновый стержень лазера – это цилиндр, торцы которого отполированы и покрыты слоем серебра таким образом, что один торец полностью отражает свет, а другой – частично отражает, а частично пропускает.

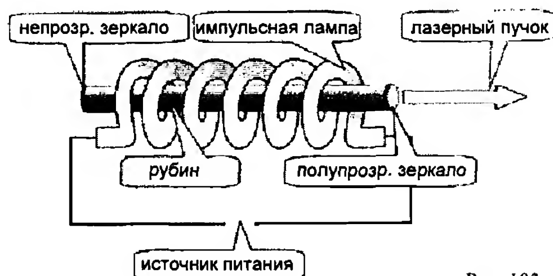


Рис. 102

При вспышке лампы накаливания на рубиновый стержень падают фотоны различной частоты. В стержне возникают колебания. Атомы, поглотив часть фотонов, переходят в возбужденное состояние.

Возникает вынужденное излучение, которое распространяется строго вдоль оси стержня и усиливается при многократном отражении от зеркал. В результате возникает мощное монохроматическое излучение – пучок света, часть которого выходит через полупрозрачное зеркало. Длительность излучения пучка – 10^{-3} с.

Свойства лазерного излучения

1. Малый угол расхождения пучка света.
2. Исключительная монохроматичность.
3. Самый мощный источник света 10^{14} Вт/с, Солнце – $7 \cdot 10^3$ Вт/с.
4. КПД – около 1%.

Применение

Перспективно применение лазерного луча для связи, особенно в космическом пространстве. Огромная мощность используется для испарения материалов в вакууме, сварки. Лазерные лучи раскраивают ткани, режут стальные листы, с помощью луча лазера проводят хирургические операции, определяют расстояния с точностью до нескольких миллиметров.

Перспективно использование лазерных лучей для осуществления управления термоядерной реакцией.

В настоящее время лазеры получили весьма разнообразное применение.

IV. Закрепление изученного материала

- Что такое лазер?
- Какое измерение называют спонтанным и почему оно когерентно?
- Объясните принцип действия лазера?
- Объясните устройство рубинового лазера?
- Перечислите основные сферы применения лазеров?

Дополнительный материал

Слово «лазер» представляет собой аббревиатуру английской фразы «Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation», переводимой как усиление света в результате вынужденного (индуцированного) излучения. Гипотеза о существовании индуцированного излучения была высказана в 1917 г. А Эйнштейном. Советские ученые Н.Г. Басов и А.М. Прохоров и независимо от них американский физик Ч. Таунс использовали явление индуцированного излучения для создания микроволнового генератора радиоволн с длинной волны $\lambda = 1{,}27$ см.

Чтобы создать лазер или оптический квантовый генератор – источник когерентного света необходимо:

1) рабочее вещество с инверсной населенностью, только тогда можно получить усиление света за счет вынужденных переходов;

2) рабочее вещество следует поместить между зеркалами, которые осуществляют обратную связь;

3) усиление, даваемое рабочим веществом, а значит, число возбужденных атомов или молекул в рабочем веществе, должно быть больше порогового значения, зависящего от коэффициента отражения полупрозрачного зеркала.

Первым квантовым генератором был рубиновый твердотельный лазер. Также были созданы: газовые, полупроводниковые, жидкостные, газодинамические, кольцевые (бегущей волны).

Лазеры нашли широкое применение в науке – основной инструмент в нелинейной оптике, когда вещества прозрачные или нет для потока обычного света меняют свои свойства на противоположные.

Лазеры позволили осуществить новый метод получения объемных и цветных изображений, названный голографией.

В медицине, особенно в офтальмологии, хирургии и онкологии широко применяются лазеры, способные создать малое пятно, благодаря высокой монохроматичности и направленности. В офтальмологии лазерное излучение с энергией 0,2–0,3 Дж позволяет осуществлять ряд сложных операций, не нарушая целостности самого глаза. Одной из таких операций является приварка и укрепление отслоившейся сетчатки с помощью коагуляционных спаек. Кроме того, лазерный луч применяется для выжигания злокачественных и доброкачественных опухолей. В хирургии сфокусированный световой луч непрерывного лазера (мощностью до 100 Вт) служит чрезвычайно острым и стерильным скальпелем, осуществляющим бескровные операции даже на печени и селезенке. Весьма перспективно использование непрерывных и импульсных лазеров для прижигания ран и остановки кровотечений у больных с пониженной свертываемостью крови.

Лазерная обработка металлов. Возможность получать с помощью лазеров световые пучки высокой мощности до 10^{12}–10^{16} Вт/см^2 при фокусировке излучения в пятно диаметром до 10–100 мкм делает лазер мощным средством обработки оптически непрозрачных материалов, недоступных для обработки обычными методами (газовая и дуговая сварка). Это позволяет осуществлять новые технологические операции, например, просверливание очень узких каналов в тугоплавких материалах, различные операции при изготовлении пленочных микросхем, а также увеличивает скорость обработки деталей. При пробивании отверстий в алмазных кругах сокращает время обработки одного круга с 2–3 дней до 2 мин. Наиболее широко применяется лазер в микроэлектронике, где предпочтительна сварка соединений, а не пайка. Основные преимущества: отсутствие механического контакта, возможность обработки труднодоступных деталей, возможность создания узких каналов, направленных под углом к обрабатываемой поверхности.

Лазерная связь и локация. По сравнению с существующими средствами радиосвязи и радиолокации лазерные обладают двумя основными преимуществами: узкой направленностью передачи и широкой полосой пропускания передаваемых частот. Сам лазер создает направленный луч (расходимостью ~10′), а применение оптической системы позволяет сформировать еще более параллельный луч (расходимостью ~ 2–3″). Один лазерный луч позволяет передавать сигнал в полосе частот – 100 МГц. Это дает возможность одновременной передачи 200 телевизионных каналов.

Первые сведения о применении лазерной локации относятся к 1962 г., когда была осуществлена локация Луны. Увеличение мощности, излучаемой лазером, сделает возможным картографирование поверхности Луны с Земли с высокой точностью (около 1,5 м). Лазерная локация применяется также в геофизике для определения высоты облаков, исследовании инверсионных и аэрозольных слоев в атмосфере, турбулентности и т. п.

Лазерные системы навигации и обеспечения безопасности полетов. Одним из основных элементов инерциальных систем навигации, широко используемых в авиации, являются гироскопы, которые в основном и определяют точность системы. Лазерные гироскопы обладают достаточно высокой

точностью, большим диапазоном измерения угловых скоростей, малым собственным дрейфом, невосприимчивостью к линейным перегрузкам. Лазеры успешно применяются как измерители скорости полета, высотомеры. Лазерные курсо-глиссадные системы обеспечивают безопасность полетов, связанную с увеличением точности систем посадки, снижения ограничений по метеоусловиям, обеспечением больших удобств работы экипажа при выполнении такого ответственного участка полета, как посадка. Установленные вблизи взлетно-посадочного полотна лазерные лучи создают геометрическую картину, позволяющую судить о правильности выдерживания траектории посадки.

Лазерные системы управления оружием резко повысили точность попадания. Лазерная полуактивная система наведения состоит из лазерного целеуказателя (лазерной системы подсвета цели) и боеприпаса с лазерной головкой самонаведения.

Урок 114. Урок-игра «Своя игра»

Цель: показать, что физика связана со многими школьными предметами.

Ход урока

I. Подготовительный этап

От ребят требуется серьезная подготовка по физике, ее истории, математике и литературе.

Каждый вопрос выписан на отдельную карточку (плотный картон), на другой стороне которой указаны баллы.

Зрители раскладывают карточки на своем столе в определенной последовательности, например:

Оптика	100	200	300	400	500
Великие открытия	100	200	300	400	500
Квантовая физика	100	200	300	400	500
Физика и природа	100	200	300	400	500

Подобные же схемы находятся на столах игроков. Правила игры те же, что и в ТВ-игре: 3 тура и финал.

II. Ход игры

1-й тур

Оптика

100. Что такое луч света?

200. Что такое световой пучок?

300. Какими явлениями можно подтвердить прямолинейность распространения света?

400. В чем состоит принцип обратимости световых лучей?

500. Какое отражение света называют зеркальным?

Великие открытия

100. С его фамилией связывается название силы, с которой магнитное поле действует на движущуюся заряженную частицу.

200. Известный врач, физик, астроном, механик-металлург, египтолог, физиолог, политолог, способный гимнаст.

300. В 1821 г. ученый записал в своем дневнике «Превратить магнетизм в электричество». Через 10 лет эта задача была им решена.

400. Он экспериментально доказал существование электромагнитных волн.

500. С его именем связаны установление первой в мире телеграфной связи между Америкой и Европой и абсолютная шкала температур.

Квантовая физика

100. Какую роль сыграло в физике изучение излучения абсолютно черного тела?

200. Почему законы классической электродинамики не могут объяснить излучение абсолютно черного тела?

300. Какие из законов фотоэффекта, полученные в результате экспериментов, не объясняются с позиций классической электродинамики?

400. Сопоставьте гипотезы Планка и Эйнштейна об электромагнитном излучении.

500. Как взаимосвязаны уравнение Эйнштейна для фотоэффекта и законы Столетова, полученные эмпирическим путем?

Физика и природа

100. Почему в ясный солнечный день солнечные блики под деревьями кажутся нам круглыми – ведь промежутки между листьями имеют самую разнообразную форму?

200. Необходимо расположить по прямой линии молодые деревья, высаживаемые в землю при озеленении улицы. Каким свойством световых лучей пользуются при этом?

300. Почему длинная аллея деревьев на значительном расстоянии от наблюдателя кажется сходящейся в одну точку?

400. Почему у кошки в темноте светятся глаза?

500. Что представляет собой зеркало, применяемое при исследовании глазного дна больного?

2-й тур

Оптика

100. Какие условия необходимы для получения изображения в плоском зеркале?

200. Какое изображение имеет источник в плоском зеркале?

300. Какое изображение называют действительным, мнимым?

400. Может ли источник быть мнимым?

500. Какое отражение света называют диффузным?

Великие открытия

100. Что открыл Х. Эрстед 15 февраля 1820 г., читая лекцию студентам университета?

200. В своем дневнике немецкий физик Георг Симон Ом пишет: «Я брал куски цилиндрической проволоки произвольной длины из различных материалов и помещал их поочередно в цепь...». Какую зависимость установил Ом в этих экспериментах?

300. Назовите первого русского академика?

400. Открыл водород, углекислый газ, определил состав воздуха, постоянную тяготения, будучи английским лордом, он первым установил закон взаимодействия электрических зарядов. Кто это?

500. Автор научного труда «Математические начала натуральной философии».

Квантовая физика

100. Что общего имеют и чем отличаются фотоны и частицы вещества?

200. Какое из следующих утверждений о свете является, на ваш взгляд, наиболее верным:

а) «Свет – это электромагнитные волны»;
б) «Свет – это поток частиц фотонов»;
в) «Свет – это электромагнитные волны и поток фотонов одновременно»;
г) «Свет – это ни электромагнитные волны, ни поток фотонов»;
д) «Свет – это и то и другое, ни то ни другое одновременно».

300. Можно ли считать фотон материальным объектом, ведь его масса равна нулю?

400. Покажите взаимосвязь материи и движения на примере:

а) существования фотона;
б) распространения электромагнитной волны.

500. Сравните вещество и электромагнитное поле как виды материи.

Физика и природа

100. Какие животные используют «перископ» для наблюдения предметов из-за укрытий?

200. Почему растения не следует поливать в то время, когда на них падают солнечные лучи?

300. Чему равна оптическая сила хрусталика человеческого глаза?

400. Какая часть человеческого глаза больше всего преломляет световые лучи?

500. Известно, что принцип работы глаза подобен принципу работы многих оптических приборов. Но почему же в жизни без специальных приспособлений мы не замечаем хроматической аберрации глаза?

3-й тур

Оптика

100. В чем сущность методов генетической оптики?

200. Почему плоское зеркало иногда дает искаженное изображение?

300. Справедливы ли законы отражения в случае падения света на лист тетрадной бумаги?

400. Почему нельзя использовать плоское зеркало в качестве киноэкрана?

500. Какими способами измерялась скорость света? В чем трудности измерения скорости света?

Великие открытия

100. «Эврика! Эврика! Я нашел!» – кому принадлежат эти слова?

200. Ученый, который под угрозой смерти, вынужден был отречься от своего учения, но, по преданию, уже выходя из зала суда, произнес историческую фразу: «А все-таки она вертится!». Кто он?

300. Французский ученый и философ сформулировал закон сохранения количества движения, его системой координат пользуются в геометрии.

400. Про него сказали: «Он остановил Солнце и сдвинул Землю». О ком идет речь?

500. О каком русском ученом наш великий поэт А. С. Пушкин сказал, что он создал первый в России университет, что «он, лучше сказать, сам был первым русским университетом»?

Квантовая физика

100. Как бы вы отнеслись к сообщению о том, что открыт новый вид материи, отличный от вещества и от поля?

200. Как вы понимаете слова о единстве видов материи – вещества и поля?

300. Укажите волновые, корпускулярные и квантовые свойства света. Какова связь между этими свойствами?

400. Могло ли случиться так, что в истории науки победила бы одна из концепций о природе света – волновая или корпускулярная?

500. Как вы понимаете утверждение: «Корпускулярно-волновой дуализм – это общее свойство материи»?

Физика и природа

100. Почему близорукие люди, чтобы лучше видеть, щурят глаза?

200. Два наблюдателя – близорукий и дальнозоркий – рассматривают предмет через лу́пу, располагая ее на одинаковом расстоянии от глаза. Который из наблюдателей должен расположить предмет ближе к лупе?

300. Почему с наступлением темноты мы становимся как бы близорукими, и очертания предметов перестают быть резкими?

400. Почему днем зрачки у людей сужаются, а ночью расширяются?

500. Почему находясь в освещенной комнате, мы ничего не видим за окном, когда стемнеет?

Финал

Учитель задает вопрос. Первый ответивший побеждает.

– Объясните с точки зрения оптики выражение «Ночью все кошки серы».

III. Подведение итогов игры

Подводятся итоги и выставляются оценки.

Глава. 13. Физика атомного ядра

Урок 115. Радиоактивность. Радиоактивные превращения атомных ядер

Цель: дать учащимся представление о радиоактивности.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Проверка домашнего задания

– Что представляет собой атом согласно модели, предложенной Томсоном?

- Как проводится опыт по рассеиванию α-частиц?
- Какой вывод был сделан Резерфордом на основании того, что некоторые α-частицы при взаимодействии с фольгой рассеивались на большие углы?
- Что представляет собой атом согласно ядерной модели, выдвинутой Резерфордом?
- Расскажите, как α-частицы проходят сквозь атомы вещества согласно ядерной модели.

III. Изучение нового материала

Открытие естественной радиоактивности – явление, доказывающее сложный состав атомного ядра, произошло благодаря счастливой случайности.

Беккерель обнаружил, что химический элемент уран самопроизвольно (т. е. без каких-либо внешних воздействий) излучает ранее невидимые лучи. Начались интенсивные исследования. Обнаружилось, что излучение урановых солей ионизирует воздух и разряжает электроскоп.

Было установлено, что интенсивность излучения определяется только количеством урана в препарате и совершенно не зависит от того, в какие соединения он входит. Свойство присуще химическому элементу урану.

В 1898 г. Мария Склодовская-Кюри (1867–1934) во Франции, а также другие ученые обнаружили излучение тория. В дальнейшем основные усилия в поисках новых элементов были предприняты Марией Склодовской-Кюри и ее мужем Пьером Кюри. Само же явление самопроизвольного излучения было названо супругами Кюри радиоактивностью. Впоследствии было установлено, что все химические элементы с порядковым номером более 83 являются радиоактивными.

В 1989 г., подвергая радиоактивное излучение действию магнитного поля, Э. Резерфорд выделил два вида излучения: α-лучи (тяжелые положительно заряженные частицы, ядра атома гелия) и β-лучи (отрицательно заряженные частицы).

В 1900 г. П. Виклард открыл γ-лучи – нейтральное излучение, где масса покоя равна нулю.

Эти три вида излучения очень сильно отличаются друг от друга по проникающей способности. Наименьшей проникающей способностью обладают α-лучи.

Слой бумаги толщиной около 0,1 мм для них уже непрозрачен. Для β-лучей непрозрачной является алюминиевая пластинка при толщине несколько миллиметров. Наибольшей проникающей спо-

собностью обладают γ-лучи, слой свинца толщиной 1 см не является для них непреодолимой преградой.

По своим свойствам γ-лучи напоминают рентгеновские. Это электромагнитные волны с длиной волны от 10^{-8} до 10^{-11} см.

Проще всего было экспериментировать с β-лучами, так как они сильно отклонялись как в магнитном, так и в электрическом поле. При исследовании было установлено, что они представляют собой не что иное, как электроны, движущиеся со скоростями, очень близкими к скорости света.

Труднее оказалось выявить природу α-частиц. Окончательно эту задачу решил Резерфорд. α-частицы оказались ядрами атома гелия.

Что же происходит с веществом при радиоактивном излучении? Уже в самом начале исследования радиоактивности обнаружилось много странного и необычного.

Во-первых, удивительное постоянство, с которым радиоактивные элементы испускают излучения. На протяжении суток, месяцев и лет интенсивность излучения заметно не изменяется. На него не оказывает влияние нагревание или увеличение давления; химические реакции, в которые вступал радиоактивный элемент, также не влияли на интенсивность излучения.

Во-вторых, радиоактивность сопровождается выделением энергии, и она выделяется непрерывно на протяжении ряда лет. Откуда же берется эта энергия? При радиоактивности вещество испытывает какие-то глубокие изменения. Было сделано предположение, что превращения претерпевают сами атомы.

В дальнейшем было обнаружено, что в результате атомного превращения образуется вещество совершенно нового вида, полностью отличное по своим физическим и химическим свойствам от первоначального. Это новое вещество, однако, само так же неустойчиво и испытывает превращения с испусканием характерного радиоактивного излучения.

IV. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 99.

Дополнительный материал

Антуан Беккерель

Антуан Беккерель – французский физик, родился 15 декабря 1852 г., в Париже. Сын Александра Эдмонда Беккереля, прославившегося своими исследованиями фосфоресценции. Беккерели: отец, сын и дед – жили в доме французского естествоиспытателя Кювье, принадлежащем Национальному

музею естественной истории. В этом доме Анри и сделал свое великое открытие. Мемориальная доска на фасаде гласит: «В лаборатории прикладной физики Анри Беккерель открыл радиоактивность 1 марта 1896 года».

Антуан Беккерель учился в лицее, затем в Политехнической школе, по окончании которой работал инженером в Институте путей сообщения. Но вскоре его постигло горе: умерла его молодая жена, и молодой вдовец с сыном Жаном, будущим четвертым физиком Беккерелем, переезжает к отцу в Музей естественной истории. Сначала он работает репетитором Политехнической школы, а с 1878 г., после смерти деда, становится ассистентом своего отца.

В 1888 г. Анри защищает докторскую диссертацию и ведет вместе с отцом разностороннюю научную работу. Через год его избирают в Академию наук. С 1892 г. он становится профессором Национального музея естественной истории.

Основные работы посвящены оптике (магнитооптика, фосфоресценция, инфракрасные спектры) и радиоактивности. В 1896 г., изучая действие различных люминесцирующих веществ на фотопластинку, в частности солей урана, открыл неизвестное излучение, присущее самой урановой соли и ничего общее не имеющее с люминесцирующим излучением. Это явление самопроизвольного излучения солями урана лучей особой природы было названо радиоактивностью.

Пропуская бета-лучи через пересекающиеся электрическое и магнитные поля, он первый измерил отношение заряда к массе бета-частиц и установил, что оно такого же порядка, как и для частиц катодных лучей (1900 г.). Обнаружил в 1901 г. (независимо от П. Кюри) физиологическое действие радиоактивного излучения, а также способность ионизировать газ.

За открытие явления естественной радиоактивности урана Беккерель в 1903 г. был удостоен Нобелевской премии. Обладатель всех знаков отличия Парижской Академии наук, Член Лондонского королевского общества. Летом 1908 г. академия избирает его непременным секретарем физического отделения.

Умер Антуан Анри Беккерель 25 августа 1908 г.

Урок 116. Экспериментальные методы исследования частиц

Цель: познакомить учащихся с экспериментальными методами исследования частиц.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Проверка домашнего задания

- В чем заключалось открытие, сделанное Беккерелем в 1896 г.?
- Как стали называть способность атомов некоторых химических элементов к самопроизвольному излучению?

- Как были названы частицы, входящие в состав радиоактивного излучения?
- О чем свидетельствует явление радиоактивности?
- Что происходит с радием в результате α-распада?
- Какая часть атома – ядро или электронная оболочка – претерпевают изменения при радиоактивном распаде?
- Запишите реакцию α-распада радия и объясните, что означает каждый символ в этой записи.
- Как называются верхнее и нижнее числа, стоящие перед буквенным обозначением элемента?
- Чему равно массовое число?
- На примере реакции α-распада радия объясните, в чем заключаются законы сохранения заряда (зарядового числа) и массового числа?
- Какой вывод следовал из открытия, сделанного Резерфордом и Содди?
- Что такое радиоактивность?

III. Изучение нового материала

Для изучения ядерных явлений были разработаны методы регистрации элементарных частиц и излучений. Наиболее распространенными являются методы, основанные на ионизующем и фотохимическом действии частиц.

Сцинтилляционный счетчик

В 1903 г. У. Крупе заметил, что α-частицы, испускаемые радиоактивным аппаратом, попадая на покрытый сернистым цинком экран, вызывают свечение. Устройство было использовано Э. Резерфордом. Сцинтилляции теперь наблюдают и считают не визуально, а с помощью специальных устройств – сцинтилляционных счетчиков.

Газоразрядный счетчик Гейгера

Действие основано на ударной ионизации. Заряженная частица, пролетающая в газе, отрывает у атома электрон и создает ионы и электроны. Электрическое поле между анодом и катодом ускоряет электроны до энергии, при которой начинается ударная ионизация.

Чтобы счетчик Гейгера мог регистрировать наглядно попадающую в него частицу, надо своевременно прекратить лавинный разряд. Быстрое гашение разряда можно достичь примесями, добавленными к инертному газу. Положительные ионы газа, сталкиваясь с молекулами спирта, рекомбинируют в нейтральные атомы и теряют способность выбивать из катода электроны (самогасящиеся счетчики). В других счетчиках гашение разряда производят, подбирая определенное нагрузочное сопротивление с цепи счетчика:

$$R \approx 10^3 \text{ Ом}.$$

Так, возникающий при самостоятельном разряде проход через резистор, вызывает на нем большое падение напряжения, что приводит к быстрому уменьшению напряжения между анодом и катодом: лавинный разряд прекращается.

На электродах восстанавливается начальное напряжение, и счетчик готов к регистрации следующей частицы. Скорость счета равна 10^4 частиц в секунду.

Камера Вильсона

Действие камеры Вильсона основано на конденсации перенасыщенного пара на ионах с образованием капель воды. Если в геометрическом сосуде с парами воды или спирта происходит резкое расширение газа (адиабатный процесс), температура убывает. И если в этот момент через объем камеры пролетает заряженная частица, то на своем пути она создает ионы, на которых образуются капельки сконденсировавшегося пара.

Таким образом, частица оставляет за собой след (трек) в виде полоски тумана. Этот трек можно наблюдать или сфотографировать. По треку можно определить энергию и скорость частицы. Если поместить камеру в магнитное поле, то по искривлению трека можно определить знак заряда и его энергию, а по толщине трека – величину заряда и массу частицы.

Пузырьковая камера

В 1952 г. Д. Глейзером для регистрации заряженных частиц, имеющих высокую энергию, была создана пузырьковая камера. Принцип действия ее основан на том, что в перегретом состоянии чистая жидкость, находясь под высоким давлением, не закипает при температуре выше точки кипения. Пузырьковая камера заполнена жидким водородом под высоким давлением. При резком уменьшении давления переводят жидкость в перегретое состояние.

Если в это время в рабочий объем камеры попадает заряженная частица, то она образует на своем пути в жидкости цепочку ионов. В области пролета частицы жидкость закипает, вдоль ее траектории появляются мелкие пузырьки пара, которые являются треком этой частицы.

Преимущество перед камерой Вильсона: пузырьковая камера может регистрировать частицы с большей энергией, так как в пузырьковой камере большая плотность рабочего вещества. Кроме того, по сравнению с камерой Вильсона, пузырьковая камера обладает быстродействием. Рабочий цикл равен 0,1 с.

Метод толстослойных фотоэмульсий

Этот метод был разработан в 1928 г. физиками А. П. Ждановым и Л. В. Мысовским. Его сущность заключается в использовании специальных фотоэмульсий для регистрации заряженных частиц. Пролетающая сквозь фотоэмульсию быстрая частица действует на зерна бромистого серебра и образует скрытое изображение. При проявлении фотопластинки образуется трек. После исследования трека оценивается энергия и масса заряженной частицы.

Преимущество метода: с его помощью получают неисчезающие со временем следы частиц, которые могут быть тщательно изучены.

Сегодня широкое применение нашли полупроводниковые детекторы, регистрирующие α-, β-, γ-излучения.

IV. Закрепление материала

– На каком принципе основано действие газоразрядного счетчика Гейгера?
– Какого вида излучения регистрирует счетчик Гейгера?
– Какие изменения могут произойти в работе счетчика, если резистор R заменить другим, имеющим меньшее сопротивление?
– Какой вид имеет траектория движения электрона в пузырьковой камере, помещенной в магнитное поле?
– Можно ли в камере Вильсона наблюдать треки заряженной частицы со временем жизни 10^{-23} с?
– На каком принципе основано действие пузырьковой камеры?

V. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 98.

Попробуйте решить следующую практическую задачу:

По трубопроводу течет бензин, а вслед за ним – нефть. Как определить момент, когда через данное сечение трубопровода проходит граница раздела бензина и нефти? (Пробу брать нельзя, но у вас есть счетчик Гейгера и радиоактивный препарат.)

Урок 117. Лабораторная работа по теме: «Изучение треком заряженных частиц»

Цели: провести идентификацию заряженной частицы по результатам сравнения ее трека с треком протона в камере Вильсона, помещенной в магнитное поле.

Оборудование: необходимые средства измерения.

Ход урока

Работа провидится с готовой фотографией треков двух заряженных частиц. Трек I принадлежит протону, трек II – частице, которую надо идентифицировать. Линии индукции магнитного поля перпендикулярны плоскости фотографии. Начальные скорости обеих частиц одинаковы и перпендикулярны краю фотографии.

Идентификация неизвестной частицы осуществляется путем сравнения ее удельного заряда $\frac{q}{m}$ с удельным зарядом протона. Это можно сделать, измерив и сравнив радиусы треков частиц на начальных участках треков. Действительно, для заряженной частицы, движущейся перпендикулярно вектору индукции магнитного поля, можно записать:

$$qB\upsilon = \frac{m\upsilon^2}{R} \text{ или } \frac{q}{m} = \frac{\upsilon}{BR}.$$

Из этой формулы видно, что отношение удельных зарядов частиц равно обратному отношению радиусов их траекторий.

Радиус кривизны трека частицы (см. рис. 103) определяют следующим образом.

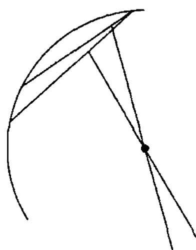


Рис. 103

Накладывают на фотографию лист прозрачной бумаги и переводят на нее трек (это нужно делать осторожно, чтобы не повредить фотографию).

Вычерчивают, как показано на рисунке, две хорды и выставляют к этим хордам в их серединах перпендикуляры. На пересечении перпендикуляров лежит центр окружности; ее радиус измеряют линейкой.

Подготовка к проведению работы

1. Подготовить бланк отчета с таблицей для записи результатов измерений и вычислений.

2. Перенести на кальку треки частиц с фотографии.

Проведение эксперимента, обработка результатов измерений

1. Измерить радиусы кривизны треков частиц, скопированных на кальку, на их начальных участках.

2. Сравнить удельные заряды неизвестной частицы и протона. Идентифицировать частицу по результатам измерений.

Контрольные вопросы

1. Как направлен вектор магнитной индукции относительно плоскости фотографии треков частиц?

2. Почему радиусы кривизны на разных участках трека одной и той же частицы различны?

Урок 118. Строение атомного ядра

Цель: познакомить учащихся со строением атомного ядра.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Проверка домашнего задания. Повторение

- Расскажите об устройстве и принципе действия счетчика Гейгера.
- Для регистрации каких частиц применяется счетчик Гейгера?
- Расскажите об устройстве и принципе действия камеры Вильсона.
- Какие характеристики частиц можно определить с помощью камеры Вильсона, помещенной в магнитное поле?
- В чем преимущество пузырьковой камеры перед камерой Вильсона? Чем отличаются эти приборы?

III. Изучение нового материала

В 1911 г. в результате проведенных Резерфордом исследований по рассеиванию α-частиц при прохождении через вещество, был открыт проток (ядро атома водорода), который обладает положительным электрическим зарядом, равным модулю заряда электрона.

Заряд ядра атома

Английский физик Г. Мозин в 1913 г. предсказал, что заряд ядра атома $q_я > Z_с$, где e – элементарный электрический заряд; Z – порядковый номер элемента в таблице Менделеева, определяет число электронов в атоме. Химические свойства зависят только от зарядового числа.

Немецкие ученые В. Боте и Г. Беккер, изучая реакции, проходящие при облучении бериллия α-частицами (1930 г.), обнаружили новое излучение, обладающее очень большой проникающей способностью.

В 1932 г. английский физик Дж. Чэдвин выдвинул гипотезу: бериллиевые лучи состоят из нейтральных частиц, масса которых близка к массе протона. Их назвали нейтронами. Дальнейшие исследования показали, что нейтрон – нестабильная частица: свободный нейтрон за время 15 мин. распадается на протон, электрон и нейтрино-частицу, лишенную массы покоя. Масса нейтрона m_n = 1838,6 электронных масс, масса протона – m_p = 1836,1 электронных масс, m_n больше m_p приблизительно на 2,5 массы электрона. После открытия нейтрона ^1_0n физики Д. Д. Иваненко и В. Г. Гейзенберг выдвинули гипотезу о протонно-нейтронном строении ядра. По этой гипотезе число протонов в ядре Z, число нейтронов N, массовое число – это суммарное число нуклонов в ядре – A:

$$A = Z + N\ ,\ Z_p = Z_e\ .$$

$$1\ а.е.м = \frac{1}{12}\cdot\frac{0{,}012\ кг}{6{,}022\cdot 10^{23}} = 1{,}66058\cdot 10^{-27}\ кг\ .$$

Изотопы

В 1911 г. Ф. Содди предположил, что ядра с одинаковым числом протонов, но различным числом нейтронов, являются ядрами одного и того же химического элемента. Такие ядра он назвал изотопами. Изотопы имеют одинаковые химические свойства, что обусловлено массой. Блестящее подтверждение – физический прибор масс-спектрометр.

Например, изотопы урана: $^{235}_{92}U$, $^{238}_{92}U$;

изотопы водорода: ^1_1H , ^2_1H , ^3_1H .

IV. Закрепление изученного материала

- Как иначе называется и каким символом обозначается ядро атома водорода?
- Каковы его масса и заряд?
- Когда впервые было выдвинуто предположение о существовании электрически нейтральных частиц с массой приблизительно равной массе протона?
- Кто и когда первый доказал, что бериллиевое излучение представляет собой поток нейтронов?
- Как было доказано отсутствие электрического заряда у нейтронов? Как он обозначается?

V. Решение задач

1. Ядром какого элемента является протон?

2. Сколько процентов составляет разность в массах покоя протона и нейтрона по отношению к массе покоя протона?

3. Сколько нуклонов содержат ядра лития $^{6}_{3}L$, меди $^{64}_{29}Cu$, серебра $^{108}_{47}Ag$, свинца $^{207}_{82}Pb$?

4. Определите нуклоновый состав ядер гелия $^{4}_{2}He$, кислорода $^{16}_{8}O$, селена $^{79}_{34}Se$, ртути $^{200}_{80}Hg$, радия $^{226}_{88}Ra$, урана $^{235}_{92}U$.

5. Доля каких нуклонов в ядрах элементов возрастает с увеличением зарядового числа?

6. Назовите химический элемент, в атомном ядре которого содержатся нуклоны:

а) 7p + 7n;
б) 18p + 22n;
в) 33p + 42n;
г) 84p + 126n.

Домашнее задание

§ 105, упр.
Р – 1172; Р – 1173.

Дополнительный материал

Шел 1910 год. То было время непрерывного изучения альфа-лучей. Эксперименты Резерфорда, начатые еще в Канаде вслед за открытием законов радиоактивности, позволили установить природу альфа-лучей. Оказалось, что это дважды ионизированные атомы гелия (голые ядра без электронных оболочек), вылетающие при радиоактивном распаде с колоссальной скоростью 10000 км/с, поскольку относительная атомная масса альфа-частиц равна 4, а заряд +2, они, как тяжелые снаряды, проникают в толщу вещества и могут кое-что «рассказать» об устройстве материи.

Резерфорда удивляло, что альфа-частицы, пронизывая мишени (обычно листки металлической фольги), отклонялись на самые разные углы. Очевидно, внутри вещества действуют мощные электрические поля: ведь только они могут искривлять траектории массивных заряженных частиц.

И вот в 1909 г. наступил тот зимний день, когда Марсден (молодой сотрудник Резерфорда по исследованиям) остановил на университетской лестнице Резерфорда и совсем буднично произнес: «Вы были правы, профессор: они возвращаются...».

«Они» возвращались редко: в среднем одна альфа-частица из восьми тысяч. Отражение от мишени означало, что альфа-частица встретила на своем пути достойную преграду – массивную и положительно заряженную, только такая может с силой оттолкнуть от себя прилетевшую гостью. Редкость со-

бытия говорила о крайне малых размерах преграды. И потому немногие альфа-частицы попадают в сердцевину.

После этого события, Резерфорд, «забыв остановиться», представил в своем воображении планетарный атом: вокруг положительно заряженного ядра, как планеты вокруг Солнца, вращаются отрицательно заряженные электроны.

С осмотрительной точностью сказал тогда Резерфорд, что знает только как выглядит атом, а не как он устроен. По законам классической физики, атом не мог иметь подобного строения: вращаясь вокруг ядра, электроны должны излучать, а значит, терять энергию и неизбежно падать на ядро. В общем, Резерфорд увидел обреченный атом.

Спасение пришло в 1913 г. В Манчестере появился 28-летний датчанин Нильс Бор – тихий теоретик и дерзкий мыслитель. Он принес с собой то недостающее новое – идеи теории квантов. Планетарный атом – детище безумного эксперимента *и могучей интуиции – навсегда утвердился* на квантовом основании.

Урок 119. Правило смещения

Цель: научить решать задачи по теме «Строение атомного ядра»; сформулировать правило смещения.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Проверка домашнего задания. Повторение

- Как называются протоны и нейтроны вместе?
- Как называется и какой буквой обозначается число протонов в ядре?
- Где ставится зарядовое число по отношению к символу элемента?
- Как в общем виде обозначать ядро любого химического элемента?
- Какой буквой обозначается число нейтронов в ядре?
- Как в общем виде принято обозначать ядро любого химического элемента?
- Какой формулой связаны между собой массовое число, зарядовое число и число нейтронов ядра?
- Какой состав изотопа неона $^{20}_{10}Ne$, $^{21}_{10}Ne$, $^{22}_{10}Ne$?
- Изменяется ли массовое число, масса и порядковый номер элемента при испускании ядром γ-кванта? (Z и M не меняются, масса изменяется на массу γ-кванта.)

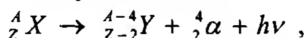
III. Изучение нового материала

Альфа-распад

Превращение атомных ядер, сопровождаемое испусканием α-частиц, называется альфа-распадом.

Наиболее устойчивым из всех образований внутри ядра является образование двух протонов ${}_{1}^{1}p$ и двух нейтронов ${}_{0}^{1}n$. Если при распределении энергии между частицами ядра это образование будет обладать энергией большей, чем энергия связи, то оно покинет ядро в виде α-частицы.

Если ${}_{Z}^{A}X$ – материальное ядро, то превращение этого ядра при α-распаде происходит по следующей схеме:



$${}_{Z}^{A}X \rightarrow {}_{Z-2}^{A-4}Y + {}_{2}^{4}\alpha + h\nu \ ,$$

где ${}_{Z-2}^{A-4}Y$ – символ дочернего ядра;

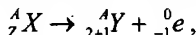
${}_{2}^{4}\alpha$ – ядро атома гелия ${}_{2}^{4}He$;

$h\nu$ – квант энергии, испускаемой ядром.

Например, ${}_{88}^{226}Ra \rightarrow {}_{86}^{222}Rn + {}_{2}^{4}He$ – т. е. происходит перемещение химического элемента на две клетки влево.

Бета-распад

Радиоактивные ядра могут выбрасывать поток электронов, которые рождаются согласно гипотезе Ферми в результате превращения нейтронов в протоны в соответствии с правилом смещения:



$${}_{Z}^{A}X \rightarrow {}_{2+1}^{A}Y + {}_{-1}^{0}e ,$$

т. е. массовое число ядра не изменяется.

Таким образом, при бета-распаде химический элемент перемещается на одну клетку вправо в периодической системе Менделеева и, кроме электронов, испускается элементарная частица – антинейтрон $\tilde{\upsilon}$.

Например: ${}_{27}^{60}Co \rightarrow {}_{28}^{60}Ni + {}_{-1}^{0}e + \tilde{\upsilon}$.

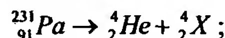
IV. Закрепление изученного материала

– Сформулируйте и запишите правила смещения для альфа-распада.
– Сформулируйте и запишите правило смещения для бета-распада.
– Какие элементарные частицы испускаются при альфа- и бета-распадах?
– Какие из известных вам законов сохранения выполняются при радиоактивных превращениях?

V. Решение задач

1. Протактиний $^{231}_{91}Pa$ α-радиоактивен. Определите, какой элемент получится с помощью этого распада.

Решение:



$^{231}_{91}Pa \to {}^{4}_{2}He + {}^{4}_{2}X$;

$Z = 91 - 2 = 89$, $A = 231 - 4 = 227$.

(*Ответ:* это активный $^{227}_{89}Ac$.)

2. В какой элемент превращается $^{239}_{92}U$ после двух β-распадов и одного α-распада?

(*Ответ:* в изотоп урана $^{235}_{92}U$.)

3. Ядро изотопа висмута $^{210}_{83}Bi$ получилось из другого ядра после одного α-распада и одного β-распада. Что это за ядро?

(*Ответ:* в изотоп полония $^{214}_{84}P_0$.)

Домашнее задание

§ 101.

Р – 1165; Р – 1167.

Дополнительный материал

Пьер Кюри и Мария Склодовская-Кюри

Пьер Кюри (1859–1906). Родился в семье врача. Первоначальное образование получил дома, а в 16 лет стал студентом Сорбонны. После присуждения ему в 1877 г. магистерской степени он 22 года преподавал в школе. Пьер Кюри внес значительный вклад в различные области физики. Вместе с братом Жаком Пьер Кюри открыл прямой пьезоэлектрический эффект (1980 г.) Также они открыли обратный пьезоэлектрический эффект. Жак и Пьер Кюри сконструировали первый пьезоэлектрический датчик для измерения малых электрических зарядов и слабых токов.

Пьер Кюри разработал теорию образования кристаллов, сформулировал общий принцип их роста, ввел понятие поверхностной энергии кристаллических граней (1884–1885). Изучая симметрию кристаллов, он выдвинул принцип, названный его именем, который позволяет устанавливать симметрию кристалла, находящегося под внешним воздействием.

П. Кюри исследовал влияние температуры на магнитные свойства тел. В 1895 г. он обнаружил, что у диамагнетиков магнитная восприимчивость не зависит от температуры, а у парамагнетиков – обратно пропорциональна ей (закон Кюри).

1895 г. ознаменовался открытием температуры, выше которой теряют свои свойства и скачкообразно изменяются другие свойства железа.

Мария Склодовская-Кюри (1867–1934). Она появилась на свет в учительской семье в Варшаве (Королевство Польское в то время входило в Российскую империю). Мария прекрасное успевала в школе, но высшее образование для женщин в России тогда было несбыточной мечтой, и Мария 8 лет работала гувернанткой, отсылая почти все заработанные деньги сестре Брониславе в Париж, где та изучала медицину. В 1891 г. сестра получила диплом и вышла замуж. В том же году Мария отправилась к ней Париж и поступила в Сорбонну. В 1893 г. она заняла первое место на итоговых экзаменах по физике, а 1894 г. – второе место на экзаменах по математике.

Знаменательная встреча Пьера Кюри и Марии Склодовской произошла в 1894 г., а 24 июля 1895 г. они вступили в брак.

Сразу после открытия Беккерелем радиоактивности (1896 г.) супруги Кюри начали планомерное исследование радиоактивных материалов, проводя эксперименты буквально в сарае. Несколько лет Марии Кюри за работу не платили, и только в 1904 г., когда Пьер Кюри стал профессором физики в Сорбонне, ее взяли на должность ассистентки. В действительности же совместная работа супругов была сотрудничеством равных. Перемыв тонны урановой руды, они сумели выделить из нее новый элемент – полоний (названный в честь Полонии – латинизированного названия Польши, родины Марии), а из урановой смолки – радий (от лат. «radio» – испускаю лучи).

В 1903 г. Мария Склодовская-Кюри стала первой женщиной, удостоенной во Франции докторской степени.

После получения Нобелевской премии супругами Кюри, для Пьера в Сорбонне была учреждена кафедра физики и лаборатория (1904 г.), позже преобразованная в Радиевый институт. Кюри часто болел. По-видимому, сказывалась работа с радиоактивными материалами. От пожелтевших листков из лабораторных журналов супругов Кюри и поныне исходит сильное радиоактивное излучение, опасное для здоровья.

Пьер Кюри погиб в результате несчастного случая: 19 апреля 1906 г. он переходил улицу, поскользнулся и попал под проезжавший мимо экипаж.

На руках Марии Кюри остались две дочери: Ирен и Ева.

Кафедра физики в Сорбонне, учрежденная для Пьера, перешла к Марии. В 1910 г. мадам Кюри опубликовала фундаментальную книгу о радиоактивности, а через четыре года возглавила Лабораторию радиоактивности в только что открытом Радиевом Институте (Париж). Во время Первой мировой войны на частные пожертвования Марии оборудовали передвижные госпитали рентгеновскими установками и она возглавила радиологическую службу Общества Красного Креста.

После окончания войны Мария выступала в разных странах с лекциями по проблемам науки. Благодаря ее усилиям в Радиевом институте удалось собрать большой запас радиоактивных материалов для исследовательских целей (до создания первых ускорителей). Именно эти материалы в немалой степени способствовали открытию Ирен и Фредериком Жолио-Кюри искусственной радиоактивности.

В честь супругов Кюри названы: внесистемная единица измерения активности изотопов – кюри (Ки) и химический элемент с атомным номером 96 – Cm (кюрий), а в честь родины Марии – Полоний 84-й элемент.

Урок 120. Ядерные силы, ядерные реакции. Энергия связи. Дефект масс

Цель: познакомить учащихся с понятием ядерной реакции, дефекта масс, энергией связи.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Проверка домашнего задания. Повторение

- Что происходит с ядром радиоактивного элемента при α-распаде?
- Приведите пример реакции α-распада.
- Как читается правило смещения для α-распада?
- Что происходит в ядре атома, претерпевшего β-распад? Какие частицы при этом излучаются? Что происходит с зарядом ядра и почему?
- Сформулируйте правило смещения для β-распада.
- Изменится ли массовое число ядра при β-распаде? Почему?
- Каким видом излучения часто сопровождается α- и β-распад?

III. Проведение самостоятельной работы

Вариант I

1. Какой заряд имеют α-частица, β-частица?

а) α-частица – отрицательный; β-частица – положительный;

б) α- и β-частицы – положительный;

в) α-частица – положительный, β-частица – отрицательный.

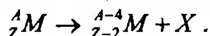
2. α-излучение – это:

а) поток электронов;

б) поток ядер атомов гелия;

в) излучение квантовой энергии.

3. Какие частицы излучаются при указанном процессе распада?



$$^{A}_{Z}M \to ^{A-4}_{Z-2}M + X.$$

а) ядро гелия;

б) электрон;

в) ядро гелия и электрон.

4. Тот факт, *что при радиоактивных превращениях из атомов одних* веществ образуются атомы других веществ, является доказательством того, что радиоактивные превращения претерпевают:

а) ядра атомов;

б) электронные оболочки;

в) кристаллы.

5. В результате β-распада новый элемент занял место в таблице Менделеева:

а) на две клетки правее;

б) на две клетки левее;

в) на одну клетку правее;

г) на одну клетку левее.

Вариант II

1. Какой заряд имеют β-частица, γ-излучение?

а) β-частица – положительный; γ-излучение – отрицательный;

б) β-частица – отрицательный, γ-излучение – не имеет заряда;

в) β-частица и γ-излучение – отрицательный.

2. β-излучение – это:

а) β-излучение квантов энергии;

б) поток ядер гелия;

в) поток электронов.

3. В результате какого радиоактивного распада натрий $^{22}_{11}Na$ превращается в $^{22}_{11}Mg$?

а) α-распада;

б) β-распада.

4. Почему радиоактивные препараты хранят в толстых свинцовых контейнерах?

а) чтобы избежать опасного излучения;

б) чтобы увеличить период полураспада;

в) чтобы уменьшить явление радиоактивности.

5. Какие частицы или излучения имеют наибольшую проникающую способность?

а) α-частицы;

б) β-излучение;

в) γ-излучение.

IV. Изучение нового материала

Гипотеза о том, что атомные ядра состоят из протонов и нейтронов, подтверждалась многими экспериментами. Это свидетельствует о справедливости протонно-нейтронной модели строения ядра.

Но почему ядра не распадаются на отдельные нуклоны под действием сил электростатического отталкивания между положительно заряженными протонами?

Ядерные силы примерно в 100 раз превосходят электромагнитные. Это самые мощные силы из всех, которыми располагает природа. Поэтому взаимодействия ядерных частиц часто называют сильными взаимодействиями.

Силы притяжения, связывающие протоны и нейтроны в ядре, называются ядерными силами.

Свойства ядерных сил:

- являются только силами притяжения;
- во много раз больше кулоновских сил;
- не зависят от наличия заряда;
- короткодействующие: заметны на $r \approx 2{,}2 \cdot 10^{-15}$ м;
- взаимодействуют с ограниченным числом нуклонов;
- не являются центральными.

Важную роль во всей ядерной физике играет понятие энергии связи ядра. Энергия связи позволяет объяснить устойчивость ядер, выяснить, какие процессы ведут к выделению ядерной энергии.

Под энергией связи ядра понимают ту энергию, которая необходима для полного расщепления ядра на отдельные частицы.

На основании закона сохранения энергии можно также утверждать, что энергия связи равна той энергии, которая выделяется при образовании ядра из отдельных частиц.

Энергия связи атомных ядер очень велика. Например, образование 4 г гелия сопровождается выделением такой же энергии, что и сгорания 1,5–2 вагонов каменного угля.

Наиболее простой путь нахождения этой энергии основан на применении закона о взаимосвязи массы и энергии:

$$E = mc^2 .$$

Масса покоя ядра $M_я$ всегда меньше суммы масс покоя слагающих его протонов и нейтронов:

$$M_Я < Z_{m_p} + N_{m_N} ,$$

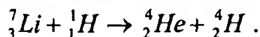
т. е. существует дефект масс:

$$\Delta m = Z_{m_p} + N_{m_p} - M_Я .$$

Энергия связи ядра:

$$\Delta E_{СВ} = \Delta mc^2 = \left(Z_{m_p} + N_{m_N} - M_Я\right)c^2 .$$

Ядерными реакциями называют изменения атомных ядер при взаимодействии их с элементарными частицами или друг с другом. Первая ядерная реакция на быстрых протонах была осуществлена в 1932 г. Удалось расщепить литий на две α-частицы:



$$^7_3Li + ^1_1H \rightarrow ^4_2He + ^4_2H .$$

V. Закрепление материала

- Какие силы действуют между нуклонами в атомном ядре?
- Проявлением какого вида фундаментальных взаимодействий являются эти силы?

- Какими свойствами обладают ядерные силы притяжения?
- Что называют энергией связи атомного ядра?
- Что называют дефектом массы?
- Напишите формулу дефекта массы.
- Что называют ядерными реакциями?

VI. Решение задач

Задача № 1

Вычислите дефект масс ядра кислорода ${}^{17}_{8}O$.

Дано:

${}^{17}_{8}O$;

$m_p = 1,6724\cdot10^{-27}$ кг;

$m_n = 1,6748\cdot10^{-27}$ кг;

$M_Я = 28,2282\cdot10^{-27}$ кг.

Δm – ?

Решение:

Дефект массы ядра равен:

$\Delta m = Z\cdot m_P + (A-Z)\cdot m_n - M_Я$.

Из символической записи элемента ${}^{17}_{8}O$ следует, что $A = 17$ и $Z = 8$, т. е. в состав ядра кислорода входит 8 протонов и 9 нейтронов: $N = A - Z = 17 - 8 = 9$.

Тогда выражение для дефекта масс можно записать:

$$\Delta m = 8\cdot1,6724\cdot10^{-27} + 9\cdot1,6748\cdot10^{-27} - 28,2282\cdot10^{-27} = 0,1656\cdot10^{-27} =$$

$$= 1,656\cdot10^{-28} \text{ кг.}$$

(*Ответ:* $\Delta m \approx 1,6\cdot10^{-28}$ кг.)

Задача № 2

Найти энергию связи ядра изотопа лития ${}^{7}_{3}Li$.

Дано:

${}^{7}_{3}Li$;

$m_p = 1,6724\cdot10^{-27}$ кг;

$m_n = 1,6748\cdot10^{-27}$ кг;

$M_Я = 11,6475\cdot10^{-27}$ кг;

$c = 3\cdot10^{8}$ м/с.

$E_{св}$ – ?

Решение:

Энергия связи ядра $E_{CB} = \Delta m\cdot c^2$, где Δm – дефект массы ядра:

$\Delta m = Z\cdot m_P + (A-Z)\cdot m_n - M_Я$.

Отсюда $E_{CB} = [Z\cdot m_n + (A-2)m_n - M_Я]\cdot c^2$.

Из символической записи изотопа лития ${}^{7}_{3}Li$ видим, что $A = 7$ и $Z = 3$, т. е. в ядре изотопа лития 7 нуклонов, из них 3 протона и 4 нейтрона ($N = A - Z$).

Подставив значения A и Z в выражение энергии связи, получим:

$$E_{CB} = [3\cdot m_P + 4m_n - M_Я]\cdot c^2;$$

$$E_{CB} = [3\cdot1,6724\cdot10^{27} + 4\cdot1,6748\cdot10^{-27} - 11,6475\cdot10^{-27}]\cdot(3\cdot10^{8})^2 =$$

$$= 0,6201\cdot10^{-27}\cdot9\cdot10^{16} = 5,58\cdot10^{-13} \text{ Дж.}$$

(*Ответ:* $E_{CB} = 5,58\cdot10^{-13}$ Дж.)

VII. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 106.

Р – 1183; Р – 1184.

Решить задачи:

1) В результате захвата α-частицами ядра изотопа азота ${}^{14}_{7}N$ образуется неизвестный элемент и протон. Написать реакцию и определить неизвестный элемент.

(*Ответ:* ${}^{14}_{7}N + {}^{4}_{2}He \to {}^{1}_{1}H + {}^{17}_{8}O$.)

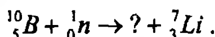
2) При бомбардировке изотопа азота ${}^{14}_{7}N$ нейтронами получается изотоп углерода ${}^{14}_{6}C$, который оказался β-радиоактивным. Напишите уравнения ядерных реакций.

(*Ответ:* ${}^{1}_{1}H$ – протон; ${}^{14}_{7}N + {}^{1}_{0}n \to {}^{14}_{6}C + {}^{1}_{1}H$.)

3) Ядро какого элемента получается при взаимодействии нейтрона с протоном (сопровождающимся выделением γ-кванта)?

(*Ответ:* изотоп водорода, ${}^{2}_{1}H$ – дейтерий.)

4) Допишите реакцию:



$${}^{10}_{5}B + {}^{1}_{0}n \to ? + {}^{7}_{3}Li .$$

Определите энергию связи ядра гелия.

(*Ответ:* ${}^{10}_{5}B + {}^{1}_{0}n \to {}^{4}_{2}He + {}^{7}_{3}Li$; $E_{СВ} = 4{,}53 \cdot 10^{-11}$ Дж.)

Урок 121. Закон радиоактивного распада

Цель: изучить закон радиоактивного распада.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Проведение самостоятельной работы

Вариант I

1. Заряды протона и электрона... (*равны по модулю.*)
2. Масса протона и электрона ... ($\frac{m_p}{m_e} \approx \frac{1836}{1}$.)
3. В состав ядра входят: ... (*протоны и нейтроны.*)
4. Соотношение массы протона и нейтрона... (*Масса нейтрона незначительно больше массы протона.*)

5. Чему равно число протонов в ядре? (*Числу электронов в оболочке атома Z.*)

6. Чему равно число нейтронов в ядре? (*A – Z.*)

7. Что такое дефект масс? (*Разность между суммарной массой нуклонов, не связанных между собой, и суммарной массой всех нуклонов, связанных между собой.*)

8. Определите, что такое удельная энергия связи. (*Удельная энергия связи ядра – это энергия связи ядра, разделенная на число нуклонов, т. е. энергия связи, приходящаяся на один нуклон ядра.*)

9. Ядра атомов у изотопов одного и того же элемента содержат… (*одинаковое число протонов, но разное число нейтронов.*)

10. Сколько нейтронов содержит изотоп $^{138}_{92}U$? (*146.*)

11. Энергия связи ядра дейтерия $^{2}_{1}H$ равна 2,224 мэВ. Чему равна удельная энергия связи этого ядра? (*1,112 мэВ.*)

Вариант II

1. Ядро атомов состоит… (*из протонов и нейтронов.*)

2. Что имеет нейтрон – массу или заряд? (*Нейтрон имеет массу, но не имеет заряда.*)

3. У всех химических элементов есть изотопы. Что можно утверждать об изотопах одного и того же элемента? (*Ядра атомов у изотопов одного и того же элемента содержат одинаковое число протонов, но различное число нейтронов.*)

4. Какому условию удовлетворяют при образовании ядра его масса покоя и масса покоя образующих частиц? ($M_Я < Z_{m_p} + N_{m_e}$.)

5. Из предыдущей задачи следует дефект массы… ($\Delta M > 0$.)

6. Что такое энергия связи? (*Энергия, которую необходимо затратить, чтобы удалить из ядра один нуклон.*)

7. Каков состав ядер натрия $^{29}_{11}Na$? (*11 протонов, 12 нейтронов.*)

8. Ядерная реакция протекает с поглощением энергии, когда суммарная масса ядер и частиц, образовавшихся при ядерной реакции,… (*больше массы исходных ядер и частиц.*)

9. Энергия связи изотопа лития $^{7}_{3}Li$ равна 39,24 МэВ. Определите удельную энергию ядра лития. (*5,6 МэВ.*)

10. Сколько протонов содержится в изотопе $^{238}_{92}U$? (*92.*)

11. Одинаковы ли химические элементы, обозначенные символами X, $^{235}_{92}X$, $^{236}_{92}X$, $^{237}_{92}X$? (*Одинаковы.*)

III. Изучение нового материала

Что же происходит с веществом при радиоактивном излучении?

1. Радиоактивные элементы – уран, торий, радий испускают излучения. На протяжении суток, месяце и лет интенсивность заметно не изменяется. На него не оказывают никакое влияние нагревание, увеличение давления и т. д.

2. Радиоактивность сопровождается выделением энергии.

Резерфорд обнаружил, что активность тория, определяемая как число распадов в единицу времени, остается неизменной в закрытой ампуле. Было обнаружено, что в результате атомного превращения образуется вещество совершенно нового вида, полностью отличное по своим физическим и химическим свойствам от первоначального вещества. Это вещество само так же неустойчиво и испытывает превращение с испусканием характерного радиоактивного излучения.

Закон радиоактивного распада установлен Ф. Содди. Опытным путем Э. Резерфорд установил, что активность радиоактивного распада убывает с течением времени. Для каждого радиоактивного вещества существует интервал времени, на протяжении которого активность убывает в 2 раза, т. е. период полураспада T данного вещества. Например, для ядра $^{226}_{88}Ra$ период $T \approx 1600$ лет, если взять 1 г $^{226}_{88}Ra$ через 1600 лет, его будет 0,5 г, а через 3200 лет – $\frac{1}{4}$ г. Таким образом, исходное количество радия должно обратиться в нуль спустя бесконечный промежуток времени.

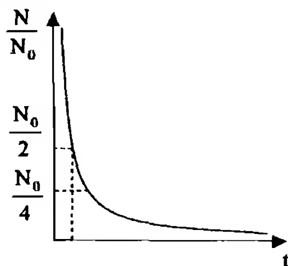


Рис. 104

Пусть число радиоактивных атомов N, время $t = 0$. Через $t_1 = T$ число нераспавшихся ядер $N_1 = \frac{N_0}{2}$, через $t_2 = 2T$ останется $\frac{N_0}{2^2}$, через $t_3 = 3T$ таких ядер окажется $\frac{1}{2} \cdot \frac{N_0}{2^2} = \frac{N_0}{2^3}$ и т. д.

Следовательно, в конце промежутка времени $t = nT$ нераспавшихся ядер останется $\frac{N_0}{2^n}$.

Так как $n = \frac{t}{T}$, то $N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$ – это закон, которому подчиняется распад большого количества радиоактивных ядер.

У радиоактивных элементов T имеет различную величину, например $^{232}_{90}Th$ имеет период полураспада $T = 1,4 \cdot 10^{10}$ лет, а у криптона $^{94}_{36}Kr$ период полураспада T = 1,4 с.

IV. Закрепление изученного материала

1. Фронтальный опрос.

– Что называют периодом полураспада радиоактивного вещества? Что он характеризует?
– Выведите формулу закона радиоактивного распада. Каков характер этого распада?
– Приведите примеры периодов полураспада некоторых радиоактивных элементов.
– Как выглядит график зависимости спада активности радиоактивного элемента от времени?

2. Решение задачи.

Имелось некоторое количество радиоактивного радона. Количество радона уменьшилось в 8 раз за 11,4 дня. Каков период полураспада радона?

Решение:

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}};\ \frac{N_0}{N} = 2^{\frac{t}{T}} \Rightarrow \frac{t}{T} = 3 \Rightarrow T = \frac{t}{3};\ T = \frac{11,4}{3} = 3,8 \text{ дня.}$$

V. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 102.

Р – 1170; Р – 1171.

Урок 122. Нейтрон

Цель: рассказать об истории открытия нейтрона.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Проведение самостоятельной работы

Вариант I

1. Какой заряд имеет α-частица, β-частица? *(α-частица – положительная, β-частица – отрицательная.)*

2. Что представляет собой α-излучение? (*Поток атомов гелия.*)

3. Какие частицы излучаются в данном процессе:

${}^{A}_{Z}M \rightarrow M^{A-Z}_{A-2} + X$? (*Ядро гелия.*)

4. Какая частица освобождается при ядерной реакции:

${}^{9}_{4}Be + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{12}_{6}C + X$? (*Нейтрон.*)

5. Что претерпевает превращения при радиоактивных превращениях? (*Ядра атомов.*)

6. Как возникает β-частица при β-распаде? (*Происходит превращение нейтрона в протон с выбросом за пределы ядра электрона с большой скоростью. Протон остается в ядре.*)

7. Имеется радиоактивный цезий массой 8 кг. Определите массу нераспавшегося цезия после 135 лет радиоактивного распада, если его период полураспада равен 27 лет. (*0,25 кг*).

Вариант II

1. Какой заряд имеют β-частица, γ-излучение? (*β-частица – отрицательный, γ-излучение – не имеет заряда.*)

2. Что представляет собой γ-излучение? (*β-излучение квантов энергии.*)

3. Внутри атомных ядер, для которых M > 200, два протона и два нейтрона взаимодействуют между собой (в течение 10^{-21} с). Когда энергия системы из четырех частиц становится достаточной для преодоления ядерных сил, она вылетает из ядра. Какой произошел радиоактивный распад? (*α-распад.*)

4. В результате какого радиоактивного распада натрий ${}^{22}_{11}Na$ превращается в ${}^{22}_{12}Mg$? (*В результате β-распада.*)

5. Почему радиоактивные препараты хранятся в толстых свинцовых контейнерах? (*Чтобы избежать опасного излучения.*)

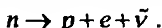
6. Сколько процентов радиоактивных ядер кобальта останется через 35,5 сут., если период полураспада равен 71 сут.? (*75%.*)

7. Имеется 4 г радиоактивного кобальта. Сколько граммов кобальта распадается за 216 сут., если его период полураспада равен 72 сут.? (*3,5 г.*)

III. Изучение нового материала

Нейтрон – это ключ, открывший доступ к запасам внутриядерной энергии. Теперь мы знаем о нем много – он лишен заряда, его масса m_n = 1,008665; а.е.м незначительно – примерно на две электронных

массы превышает массу протона. В свободном состоянии нейтрон довольно быстро, с периодом полураспада 10,7 мин, распадается на протон, электрон и электронный антинейтрон по схеме:



$$n \rightarrow p + e + \tilde{\nu} .$$

В ядре нейтрон связан прочными ядерными силами и, как правило, стабилен. Ядерные силы существенно меняют свойства нейтронов и в зависимости от типа ядра период его β-распада может быть самым разным. Резерфорд предсказал его существование еще в 1920 г.

В 1930 г. Боте и Беккер облучали α-частицами бериллий. Наблюдали они при этом не протоны, а излучение, которое проходило через слой свинца толщиной в 2,5 см.

Два года спустя Ирэн и Фредерик Жамо-Кюри продолжили исследования природы нового излучения. Впоследствии Чэдвик, узнав об опытах Жамо-Кюри, понял, что Боте и Беккер наблюдали ядерную реакцию превращения бериллия в углерод с испусканием нейтрона:



$$\alpha + {}_4^9Be \rightarrow {}_6^{12}C + {}_0^1n .$$

В 1935 г. открытие Чэдвика отмечено Нобелевской премией.

IV. Закрепление изученного материала

- Расскажите, как был открыт нейтрон.
- Какова его масса, заряд?
- Объясните, почему при центральном столкновении с протоном нейтрон передает ему всю энергию, а при столкновении с ядром азота – только ее часть.

Домашнее задание

п. 104.

Дополнительный материал

В 1914 г. началась Первая мировая война и Резерфорду пришлось на время отложить свои исследования. Но периодически, работая на военную промышленность, он возвращался к своим собственным экспериментам. В своих следующих экспериментах Резерфорд планировал взломать атом.

Эти попытки увенчались полным и потрясающим успехом. Новый взлет Резерфордовского гения привел к открытию, которое впоследствии революционизировало всю науку и технику современности. Был дан первый сигнал к началу атомного века. Резерфорд расщепил атомное ядро.

Мысль об этом возникла у Резерфорда при наблюдении в камере Вильсона (к тому времени она была уже изобретена и усовершенствована) и в сцинтилляционном счетчике загадочных треков (следов), гораздо более длинных, чем треки частиц, хорошо знакомых ему по бесчисленным опытам. Он подумал, что существуют какие-то неизвестные ему причины резкого удлинения пробега частиц. Другое предположение (оно оказалось пра-

вильным) заключалось в том, что длинные следы оставляют другие неопознанные частицы. Перед исследователем возникла задача выяснить, какое из двух предположений истинно.

Для получения ответа на свои вопросы Резерфорд решил выполнить серию опытов по бомбардировке частицами различных веществ. Он построил прибор, который теперь кажется нам необыкновенно простым. Но мы должны признать также, что только он был наиболее пригоден для наглядного решения задачи. В нем мишенями для бомбардировки должны были быть газы (т. е. легкие атомы), а не металлические пластинки, обычно использовавшиеся Резерфордом во многих предыдущих опытах.

Собственно построенный Резерфордом прибор, с помощью которого ему удалось впервые расщепить ядра атомов легких элементов, схематически изображен на рисунке.

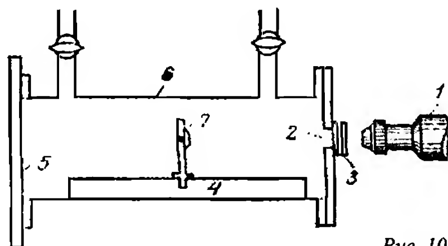


Рис. 105

Латунная трубка 6 длиной 20 см с двумя кранами наполняется газом. Внутри трубки находится диск радиоактивного излучателя 7, испускающего частицы. Диск этот укреплен на стойке, двигающейся по рельсу 4. Во время опыта один конец трубки закрывается матовой стеклянной пластинкой, а другой конец – стеклянной пластинкой (прикрепляемой воском). Маленькое прямоугольное отверстие в латунной пластинке закрывалось серебряной пластинкой 3. Серебряная пластинка обладала способностью задерживать частицы, эквивалентные слою воздуха толщиной примерно 5 см. Против отверстия помещался люминесцирующий экран из цинковой обманки. Для счета сцинтилляций исследователь пользовался зрительной трубой 1.

Когда Резерфорд наполнил трубку азотом, то в поле зрения появились частицы, оставляющие очень длинный след, подобно тому, что он уже наблюдал. Конечно, Резерфорд, прежде чем прийти к окончательным выводам, проделал еще много опытов. Но окончательное заключение было таково: при столкновении частиц с ядрами азота, некоторые из этих ядер разрушаются, испуская ядра водорода – протоны, а затем происходит образование ядра кислорода.

Колоссальное значение этого открытия было с самого начала ясно самому Резерфорду и его сотрудникам. Впервые осуществилось расщепление атомных ядер. Непоколебимые, как казалось до этого, представления о «неразложимости» химических элементов были наглядно опровергнуты. Открывались совершенно новые и удивительные возможности искусственного получения одних элементов из других, выделения огромной энергии, содержащейся в ядрах, и т. д.

Продолжая исследования, он получает экспериментальное подтверждение ранее уже установленного им положения, что небольшое количество атомов азота при бомбардировке распадается, испуская быстрые протоны – ядра водорода. В свете позднейших исследований, писал Резерфорд, «общий механизм этого превращения вполне ясен. Время от времени частицы действительно проникают в ядро азота, образуя на мгновение новое ядро типа ядра фтора с массой 18 и зарядом 9. Это ядро, которое в природе не существует, чрезвычайно неустойчиво и сразу же распадается, выбрасывая протон и превращаясь в устойчивое ядро кислорода с массой 17 ...».

В результате длительных экспериментов Резерфорду удалось вызвать ядерные реакции в 17 легких элементах.

Продолжая опыты по расщеплению ядер, Резерфорд пришел к следующему выводу: хотя частицы и обладают большой энергией, но для проникновения в ядра элементов они все же являются недостаточно мощными снарядами. Он решил повысить энергию частиц, разгоняя их в высоковольтной установке. Так был сделан первый шаг в развитии ускорительной техники.

Урок 123. Деление ядер урана

Цель: сформировать у учащихся представление о делении ядра урана.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Проверка домашнего задания. Повторение

– Какой вопрос возникает в связи с гипотезой о том, что ядра атомов состоят из протонов и нейтронов?
– Какое предположение пришлось сделать ученым для ответа на этот вопрос?
– Как называются силы притяжения между нуклонами в ядре и каковы их характерные особенности?
– Что называется энергией связи ядра?
– Запишите форму для расчета энергии связи ядра по его дефекту масс.

III. Изучение нового материала

Учащиеся самостоятельно читают параграф и составляют план-конспект прочитанного.

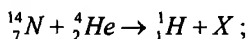
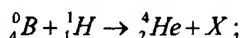
IV. Закрепление изученного материала

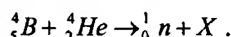
– Когда было открыто деление ядер урана при бомбардировке их нейтронами?
– Почему деление ядра может начаться только тогда, когда оно деформируется под действием поглощенного им нейтрона?
– Что образуется в результате деления ядра?

- В какую энергию переходит часть внутренней энергии ядра при ёго делении?
- В какой вид энергии преобразуется кинетическая энергия осколков ядра урана при их торможении в окружающей среде?
- Как идет реакция деления ядер урана с выделением энергии в окружающую среду или наоборот, с поглощением энергии?

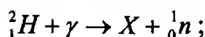
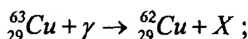
V. Решение задач

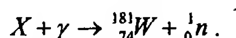
1. Определите неизвестный продукт X каждой из ядерных реакций:


$$^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He \to ^{1}_{1}H + X;$$

$$^{0}_{4}B + ^{1}_{1}H \to ^{4}_{2}He + X;$$

$$^{27}_{13}Al + ^{1}_{0}n \to ^{4}_{2}He + X;$$

$$^{4}_{5}B + ^{4}_{2}He \to ^{1}_{0}n + X.$$

2. Допишите недостающие обозначения:


$$^{2}_{1}H + \gamma \to X + ^{1}_{0}n;$$

$$^{63}_{29}Cu + \gamma \to ^{62}_{29}Cu + X;$$

$$X + ^{1}_{1}H \to ^{3}_{2}He + \gamma;$$

$$X + \gamma \to ^{181}_{74}W + ^{1}_{0}n.$$

3. Напишите ядерную реакцию, происходящую при бомбардировке алюминия $^{127}_{13}Al$ α-частицами и сопровождающуюся выбиванием протона.

4. Напишите ядерную реакцию, происходящую при бомбардировке бора $^{11}_{5}B$ α-частицами и сопровождающуюся выбиванием нейтронов.

5. При бомбардировке изотопа бора $^{10}_{5}B$ нейтронами из образовавшегося ядра выбрасывается α-частица. Напишите реакцию.

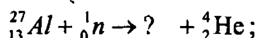
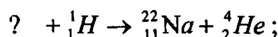
6. Элемент менделевий был получен при облучении эйнштейния $^{253}_{99}Es$ α-частицами с выделением нейтрона. Напишите реакцию.

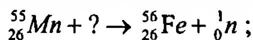
VI. Подведение итогов урока

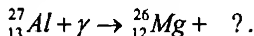
Домашнее задание

п. 108.

1. Напишите недостающее обозначение в следующих ядерных реакциях:


$$^{27}_{13}Al + ^{1}_{0}n \to ? + ^{4}_{2}He;$$

$$? + ^{1}_{1}H \to ^{22}_{11}Na + ^{4}_{2}He;$$


$$^{55}_{26}Mn + ? \rightarrow {}^{56}_{26}Fe + {}^{1}_{0}n;$$


$$^{27}_{13}Al + \gamma \rightarrow {}^{26}_{12}Mg + \ ?.$$

2. Элемент курчатовий получили, облучая плутоний $^{242}_{94}Pu$ ядрами неона $^{22}_{10}Ne$.

Напишите реакцию, если известно, что в результате образуется еще четыре нейтрона.

Урок 124. Решение задач

Цель: научить применять физические законы при решении задач.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Проверка домашнего задания. Повторение

- Что такое изотоп?
- Как читается правило смещения для α-распада?
- Как читается правило смещения для α-распада?
- Сформулируйте правило смещения для β-распада.
- Каким видом излучения часто сопровождается α- и β-распад?
- Запишите формулу для определения дефекта масс любого ядра.
- Запишите формулу для расчета энергии связи ядра по его дефекту масс.
- Какой формулой связаны между собой массовое число, зарядовое число и число нейтронов в ядре?
- Как называются протоны и нейтроны вместе?
- Изменяется ли массовое число ядра при β-распаде?
- Что происходит с ядром радиоактивного элемента при α-распаде?

III. Решение задач

Для самостоятельного решения учитель может выбрать ряд задач из предложенных:

1. Под действием какой силы α- и β-излучение отклоняется в магнитном поле? Что произойдет с изотопом урана-237 при β-распаде? Как изменяется массовое число нового элемента? Влево или вправо в таблице Менделеева происходит сдвиг? Записать реакцию.

2. Записать реакцию непосредственного превращения актиния-227 во франций-223. α- или β-распад имеет здесь место?

3. Во что превращается $^{238}_{92}U$ после одного α-распада и двух β-распадов?

4. Во что превращается изотоп тория $^{234}_{90}Th$, ядра которого претерпевают три последовательных α-распада?

5. Какой из трех α-, β- и γ-излучений не отклоняется магнитным и электрическим полями?

6. Ядра изотопа $^{232}_{90}Th$ претерпевают α-распад, два β-распада и еще один α-распад. Какие ядра после этого получаются?

7. Каков состав ядер водорода $^{3}_{1}Hu$, урана $^{238}_{92}U$? Что можно сказать о количестве нейтронов в ядрах с возрастанием их порядкового номера?

8. При бомбардировке нейтронами атома азота $^{14}_{7}N$ испускается протон. В ядро какого изотопа превращается ядро азота? Напишите реакцию

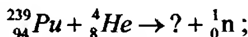
9. Каков состав изотопов неона $^{20}_{10}Ne$, $^{21}_{10}Ne$ и $^{22}_{10}Ne$? Что характерно для изотопов одного элемента?

10. Ядро изотопа магния с массовым числом 25 подвергается бомбардировке протонами. Ядро какого элемента при этом образуется, если ядерная реакция сопровождается излучением α-частиц?

11. При бомбардировке α-частицами алюминия образуется новое ядро и нейтрон. Записать ядерную реакцию и определить, ядро какого элемента при этом образуется.

12. Каков состав ядер натрия $^{22}_{11}Na$, фтора $^{19}_{9}Fu$ и менделевия $^{257}_{101}Md$?

13. Допишите реакции:



$$^{239}_{94}Pu + ^{4}_{8}He \to ? + ^{1}_{0}n;$$



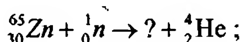
$$^{2}_{1}H + \gamma \to ^{1}_{1}H + ?.$$

14. Каков состав ядер серебра $^{107}_{47}Ag$, кюрия $^{247}_{96}Cm$ и радия $^{226}_{88}Ra$?

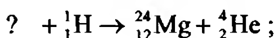
15. Каков состав ядер германия $^{73}_{32}Ge$, ниобия $^{93}_{41}Nb$ и свинца $^{207}_{82}Pb$?

16. Ядро тория $^{230}_{90}Th$ превратилось в ядро радия $^{226}_{88}Ra$. Какую частицу выбросило ядро тория? Напишите реакцию.

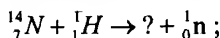
17. Написать недостающее обозначение в следующих ядерных реакциях:



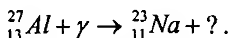
$$^{65}_{30}Zn + ^{1}_{0}n \to ? + ^{4}_{2}He;$$



$$? + ^{1}_{1}H \to ^{24}_{12}Mg + ^{4}_{2}He;$$

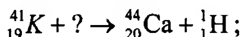


$$^{14}_{7}N + ^{1}_{1}H \rightarrow ? + ^{1}_{0}n;$$

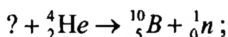


$$^{27}_{13}Al + \gamma \rightarrow ^{23}_{11}Na + ?.$$

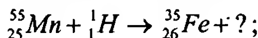
18. Написать недостающие обозначения в следующих ядерных реакциях:



$$^{41}_{19}K + ? \rightarrow ^{44}_{20}Ca + ^{1}_{1}H;$$



$$? + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{10}_{5}B + ^{1}_{0}n;$$



$$^{55}_{25}Mn + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{35}_{26}Fe + ?;$$



$$^{2}_{1}H + \gamma \rightarrow ? + ^{1}_{0}n.$$

IV. Подведение итогов урока

Домашнее задание

Повторить п. 98–103.

Урок 125. Решение задач

Цель: научить применять физические законы при решении задач.

Ход урока

I. Организационный момент

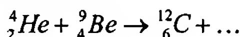
II. Решение задач

Задачи на «3» балла

1. При переходе электрона в атоме водорода из одного стационарного состояния в другое излучен свет с частотой колебаний $4{,}57 \cdot 10^{14}$ Гц. На сколько уменьшилась энергия атома водорода? (*Ответ*: $\approx 3 \cdot 10^{-19}$ Дж.)

2. Сколько нуклонов, протонов и нейтронов содержится в ядре натрия $^{23}_{11}Na$? (*Ответ*: 23 нуклона, 11 протонов, 12 нейтронов.)

3. Допишите ядерную реакцию:



$$^{4}_{2}He + ^{9}_{4}Be \rightarrow ^{12}_{6}C + \ldots$$

(*Ответ*: $^{4}_{2}He + ^{9}_{4}Be \rightarrow ^{12}_{6}C + ^{1}_{0}n$.)

4. Определите длину волны фотона, испускаемого при переходе электрона в атоме водорода с третьего энергетического уровня на первый. (*Ответ*: $\approx 10^{3}$ нм.)

5. При обстреле ядер фтора $^{19}_{3}F$ протонами образуется кислород $^{16}_{8}O$. Какие ядра образуются помимо кислорода? (*Ответ*: $^{4}_{2}He$.)

6. Сколько нуклонов, протонов и нейтронов содержится в ядре азота $^{14}_{7}N$. (*Ответ*: 14 нуклонов, 7 протонов, 7 нейтронов.)

Задачи на «4» балла

1. Найдите дефект массы, энергию связи и удельную энергию связи ядра кислорода $^{16}_{8}O$. (*Ответ*: 0,133 а.е.м; ≈ 123,5 МэВ; ≈ 7,7 МэВ/нуклон.)

2. Сколько атомов полония распадается за сутки из 10^6 атомов, если период полураспада равен 138 сут.? (*Ответ*: 5000.)

3. Какой элемент образуется из $^{238}_{92}U$ после одного α-распада и двух β-распадов? (*Ответ*: $^{234}_{92}U$.)

4. Рассчитайте дефект массы, энергию связи и удельную энергию связи ядра алюминия $^{27}_{13}Al$. (*Ответ*: 0,234 а.е.м; ≈ 218 МэВ; ≈ 8 МэВ/нуклон.)

5. Сколько α- и β-распадов испытывает уран $^{235}_{92}U$ в процессе последовательного превращения в свинец $^{207}_{82}Pb$? (*Ответ*: 7 – α-распадов; 4 – β-распадов.)

6. Активность радиоактивного элемента уменьшилась в 4 раза за 8 сут. Найдите период полураспада. (*Ответ*: 4 сут.)

Задачи на «5» баллов

1. При делении одного ядра урана $^{238}_{92}U$ на два осколка выделяется 200 МэВ энергии. Какое количество энергии освобождается при сжигании в ядерном реакторе изотопа урана, масса которого равна 1 г? Какое количество каменного угля необходимо сжечь для получения такого же количества энергии? (*Ответ*: $8{,}2\cdot10^{10}$ Дж; ≈ 3 *т*.)

2. Определите энергетический выход следующей ядерной реакции: $^{7}_{3}Le + ^{1}_{1}H \rightarrow 2\,^{4}_{2}He$. (*Ответ*: выделяется 16,85 МэВ энергии.)

3. Рассчитайте, через какой промежуток времени распадается 80 % атомов радиоактивного хрома $^{51}_{24}Cr$, если его период полураспада равен 27,8 сут.? (*Ответ*: 64,5 сут.)

4. Рассчитайте энергетический выход следующей ядерной реакции: $^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}H$. (*Ответ*: поглощается 1,2 МэВ энергии.)

5. Атомная электростанция мощностью 1000 МВт имеет КПД, равный 20 %. Какова масса расходуемого за сутки урана-235? (Счи-

тайте, что при каждом делении одного ядра урана выделяется энергия 200 МэВ.) (*Ответ*: 5,3 кг.)

6. Какая доля атомов радиоактивного изотопа кобальта $^{58}_{27}Co$ распадается за 20 сут., если период полураспада 27 сут.? (*Ответ*: 17,5 %.)

III. Подведение итогов урока

Домашнее задание

Р – 1180; Р – 1183.

Урок 126. Контрольная работа по теме «Ядерная физика»

Цель: выявить знания учащихся по теме «Ядерная физика»

Ход урока

Вариант I

1. При переходе атома водорода из третьего стационарного состояния во второе излучается фотон, соответствующий длине волны 652 км. Какую энергию теряет атом водорода при излучении этого фотона? (*Ответ*: $3 \cdot 10^{-19}$ Дж.)

2. Сколько нуклонов, протонов и нейтронов содержится в ядре урана $^{235}_{92}U$? (Ответ: 235 нуклонов, 92 протона, 143 нейтрона.)

3. При бомбардировке алюминия $^{27}_{13}Al$ α-частицами образуется изотоп фосфора $^{30}_{15}P$. Какая частица испускается при этом ядерном превращении? Запишите ядерную реакцию. (*Ответ*: $^{1}_{0}n$, $^{27}_{13}Al + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{30}_{15}P + ^{1}_{0}n$.)

4. Период полураспада радиоактивного йода-131 равен 8 сут. Рассчитайте, за какое время количество атомов йода-131 уменьшится в 1000 раз. (*Ответ*: 80 сут.)

5. Определите дефект массы, энергию связи и удельную энергию ядра азота $^{14}_{7}N$. (Ответ: 0,109 а.е.м.; ≈ 101 МэВ; ≈ 7,2 МэВ/нуклон.)

6. В какой элемент превращается изотоп тория $^{232}_{90}Th$ после α-распада, двух β-распадов и еще одного α-распада? (Ответ: $^{2241}_{88}Ra$.)

7. Определите мощность первой советской атомной электростанции, если расход урана-235 за 1 сут. Составил 30 г при КПД, равном 17 %. (Ответ: ≈ 5 МВт.)

8. Рассчитайте, какая энергия выделяется при термоядерной реакции: ${}_{1}^{2}H + {}_{1}^{3}H \rightarrow {}_{2}^{4}He + {}_{0}^{1}n$. (Ответ: ≈ 17 МэВ.)

9. Относительная доля радиоактивного углерода ${}_{6}^{14}C$ в старом куске дерева составляет 0,0416 от его доли в живых растениях. Каков возраст этого куска дерева, если период полураспада ${}_{6}^{14}C$ равен 5570 годам? (Ответ: 2550 лет.)

Вариант II

1. При электрическом разряде в трубке, наполненной криптоном-86, излучаются фотоны, соответствующие разности энергий двух стационарных состояний атома, т. е. $3{,}278 \cdot 10^{-19}$ Дж. Найдите длину волны этого излучения, принятую во всем мире в качестве естественного эталона длины. (*Ответ*: $6 \cdot 0{,}6^{-7}$ м.)

2. Сколько нуклонов, протонов и нейтронов содержится в ядре магния ${}_{12}^{24}Mg$? (*Ответ*: 24 нуклона, 12 протонов, 12 нейтронов.)

3. Запишите ядерную реакцию β-распада ядра марганца ${}_{25}^{57}Mn$. (*Ответ*: ${}_{25}^{57}Mn \rightarrow {}_{-1}^{0}C + {}_{26}^{57}Fe$.)

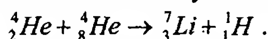
4. Какая доля радиоактивных ядер некоторого элемента распадается за время, равное половине периода полураспада? (*Ответ*: 0,29.)

5. Ядро изотопа висмута ${}_{83}^{211}Bi$ получилось из другого ядра после последовательных α- и β-распадов. Что это за ядро? (*Ответ*: ${}_{84}^{215}Po$.)

6. Рассчитайте дефект массы, энергию связи и удельную энергию связи ядра углерода ${}_{6}^{12}C$. (*Ответ*: 0,092 а.е.м.; ≈ 85,5 МэВ; ≈ 7,1 МэВ/нуклон.)

7. Определите КПД атомной электростанции, если ее мощность равна $3{,}5 \cdot 10^{5}$ кВт, а суточный расход урана равен 105 г. (Считайте, что при делении одного ядра урана ${}_{92}^{235}U$ выделяется энергия, равная 200 МэВ.) (*Ответ*: 35 %.)

8. Каков энергетический выход следующей ядерной реакции:



$${}_{2}^{4}He + {}_{8}^{4}He \rightarrow {}_{3}^{7}Li + {}_{1}^{1}H.$$

(*Ответ*: поглощается 16,85 МэВ энергии.)

9. Имеется 10^{10} атомов радия. Сколько атомов останется через 3200 лет, если период полураспада радия равен 1600 годам? (*Ответ*: $7{,}1 \cdot 10^{9}$.)

Урок 127. Цепная ядерная реакция

Цель: сформировать у учащихся представление о цепной ядерной реакции, выяснить условия ее протекания.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Анализ контрольной работы

III. Проверка домашнего задания. Повторение

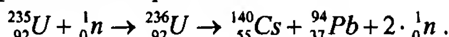
- Из чего состоит ядро?
- Какую массу имеют нейтроны? Каков заряд нейтрона?
- Каков состав ядра натрия Na?
- Сколько нейтронов содержит изотоп урана $^{238}_{92}U$? Чему равно число протонов в ядре?
- Что можно сказать о зарядах протона и электрона?
- Чем отличается химический элемент и его изотоп?

IV. Изучение нового материала

Цепная реакция деления ядер урана.

В 1940 г. Г. И. Флеров и В. Петргиан обнаружили самопроизвольное (спонтанное) деление ядер урана.

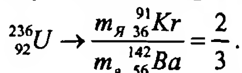
В 1938 г. Г. Ган и Ф. Штрассман открыли: ядра урана при бомбардировке его нейтронами образуют другие элементы. А объяснение этому явлению было дано в 1939 г. австрийским физиком Л. Майтнером и английским физиком О. Фришем:



$$^{235}_{92}U+{}^{1}_{0}n\to{}^{236}_{92}U\to{}^{140}_{55}Cs+{}^{94}_{37}Pb+2\cdot{}^{1}_{0}n\,.$$

(Бомбардировка нейтронами дает $^{236}_{92}U$, который распадается на цезий и рубидий.)

Позже обнаружили, что при бомбардировке нейтронами $^{235}_{92}U$ образуется 80 различных ядер. Наиболее вероятное деление оказалось:



$$^{236}_{92}U\to\frac{m_я\,{}^{91}_{36}Kr}{m_я\,{}^{142}_{56}Ba}=\frac{2}{3}\,.$$

Этот процесс происходит с выделением энергии 200 мЭВ = $3{,}2\cdot10^{-11}$ Дж. Энергия выделяется в виде:

а) E_k осколков $\approx 2{,}6\cdot10^{-11}$ Дж;

б) E_k нейтронов $\approx 0{,}1\cdot10^{-11}$ Дж;

в) γ-излучения $\approx 0{,}5\cdot10^{-11}$ Дж;

г) β-излучения.

Механизм деления

Н. Бор предложил капельную модель ядра атома. Она дает представление о ядре как о положительно заряженной капле жидкости. Ядро, поглотившее нейтрон, находится в возбужденном состоянии и подобно капле ртути при толчке начинает колебаться, изменяя свою форму. Когда энергия возбуждения станет больше энергии связи, то за счет кулоновских сил ядро разорвется на две части, которые разлетятся в противоположные стороны. Таким образом, кинетическая энергия новых ядер обусловливается кулоновскими силами.

Цепная реакция деления ядер урана – это реакция, в которой частицы (нейтроны), вызывающие эту реакцию, образуются в процессе деления ядра. Для осуществления цепной реакции пригодны лишь ядра ${}^{235}_{92}U$. Естественный уран состоит из ${}^{235}_{92}U$ (0,7%), ${}^{238}_{92}U$ (97,3%). Ядра ${}^{235}_{92}U$ делятся как быстрыми, так и медленными нейтронами.

${}^{238}_{92}U$ – только быстрыми с энергией 1 МэВ. Нейтронов с такой энергией при делении 60 %, но только один из пяти производит деление.

Цепную реакцию чистого изотопа ${}^{238}_{92}U$ осуществить медленными нейтронами невозможно. Для ее течение необходимо, чтобы коэффициент размножения k-нейтронов был ≥ 1. В этом случае число нейтронов ${}^{1}_{0}n$ увеличивается или остается постоянным и цепная реакция протекает.

При $k < 1$число ${}^{1}_{0}n$ убывает и цепная реакция невозможна.

Коэффициент размножения увеличивается при захвате медленных ${}^{1}_{0}n$ ядром ${}^{235}_{92}U$ или быстрых ${}^{1}_{0}n$ ядрами ${}^{238}_{92}U$ и ${}^{235}_{92}U$ с последующим делением.

Уменьшается при захвате нейтрона ядром без последующего деления, при вылете нейтрона из делящегося вещества, при захвате нейтрона продуктами деления, замедлителями и конструктивными элементами установки.

С целью уменьшения вылета ${}^{1}_{0}n$ увеличивают массу урана. Количество распавшихся ядер пропорционально массе урана, которая растет быстрее, чем площадь его поверхности.

Минимальное значение массы урана, при которой возможна цепная реакция, называется критической массой. В зависимости от устройства установок и типа горючего критическая масса изменяется от 250 г до сотен килограммов.

Существуют два вида ядерных реакций: неуправляемая цепная реакция и управляемая цепная реакция.

V. Закрепление изученного материала

- Что называют цепной ядерной реакцией?
- Благодаря чему оказалось возможным осуществление цепной ядерной реакции деления?
- Что называют коэффициентом размножения нейтронов?
- Чем вызвана необходимость замедления нейтронов, испускаемых при делении ядер?
- Перечислите условия протекания цепной ядерной реакции в уране-325. .

VI. Подведение итогов урока

Домашнее задание

Прочитайте и выучите материал п. 109.

Один из путей, которым осуществляется деление ядер при цепной ядерной реакции, выглядит так: уран $^{238}_{92}U$ захватывая медленный нейрон *n*, распадается на два радиоактивных осколка – цезий $^{132}_{56}Cs$ и рубидий $^{94}_{37}Rb$, и несколько нейтронов. Осколки претерпевают цепочку β-распадов, сопровождаемых γ-излучением. Конечные продукты – церий $^{140}_{58}Ce$ и цирконий $^{94}_{40}Zr$. Запишите все семь ядерных реакций.

Урок 128. Термоядерные реакции

Цель: рассказать о термоядерной реакции

Ход урока

I. Организационный момент

II. Проведение самостоятельной работы

Вариант I

1. Ядерные силы в атомном ядре могут проявляться как... (*только как силы притяжения*).

2. Если бы действовали только кулоновские силы, то... (*ядро разлетелось бы*).

3. Какие реакции называются ядерными? (*Изменения атомных ядер при взаимодействии их с элементарными частицами или друг с другом.*)

4. При реакции деления ядер $^{235}_{92}U$ выделилось $1.204.10^{25}$ МэВ энергии. Определите массу распавшегося урана, если при делении одного ядра выделяется 200 МэВ энергии. (*235 г.*)

5. Для протекания управляемой ядерной цепной реакции необходимо, чтобы коэффициент размножения нейтронов был… (*равен 1*).

6. Чем определяется критическая масса? (*Видом ядерного горючего, замедлителем, конструктивными особенностями.*)

7. Почему нейтроны легко проникают в ядро атомов? (*В виду отсутствия у нейтронов заряда.*)

Вариант II

1. Устойчивость ядра обусловлена наличием двух конкурирующих сил – … (*сил притяжения (ядерных) и отталкивания (кулоновских).*)

2. Если бы действовали только ядерные силы, то… (*ядро подобно черной дыре, сжалось бы.*)

3. При захвате ядром изотопа $^{235}_{92}U$ свободного нейтрона оно переходит в возбужденное состояние. У него уменьшается удельная энергия связи. Ядро деформируется, начинает колебаться и делиться на части под действием… (*кулоновских сил.*)

4. Как взаимодействует два нейтрона? (*Притягиваются под действием ядерных сил.*)

5. Что называется коэффициентом размножения нейтронов? (*Отношение числа нейтронов в каком-либо поколении к числу нейтронов предшествующих поколений.*)

6. При делении одного ядра изотопа $^{235}_{92}U$ освобождается 200 МэВ. Какое количество энергии выделится при делении всех ядер урана массой 10 кг? (*$2.123.10^{27}$ МэВ.*)

7. Каковы условия возникновения и протекания цепной реакции при делении тяжелых ядер атомов? (*Коэффициент размножения нейтронов должен быть равен или больше 1. Размеры активной зоны должны быть не менее критической, масса делящегося вещества – не меньше критической.*)

III. Изучение нового материала

Легкие ядра могут сливаться с выделением энергии. Масса ядра гелия значительно меньше суммы масс покоя двух ядер тяжелого водорода, на которые можно разделить ядро гелия.

При слиянии ядер масса покоя уменьшается, и, следовательно, должна выделиться значительная энергия. Подобного рода реакции слияния легких ядер могут протекать при очень высоких температурах и называются термоядерными.

Термоядерные реакции – это реакция слияния легких ядер при очень высокой температуре.

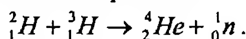
Для слияния необходимо, чтобы они сблизились на расстоянии 10^{-12} см для попадания в сферу действия ядерных сил. Этому препятствуют кулоновские силы. Энергия, которая выделяется при термоядерных реакциях в расчете на один нуклон, превышает удельную энергию, выделяющуюся при цепных реакциях деления ядер.

Термоядерные реакции играют решающую роль в эволюции Вселенной. Звезды в основном состоят из водорода. Температура внутри протекающей реакции с образованием гелия:

${}^1_1H + {}^1_1H \to {}^2_2He + {}^0_{+1}e + \gamma$, но ${}^2_2H$ не существует. На различных стадиях развития звезд выдвигаются различные циклы реакции. Конечным результатом являются ${}^4_2H$.

Ежесекундно в Солнце около 600 млрд т водорода превращается в гелий. Но запаса водорода в Солнце достаточно для того, чтобы оно непрерывно светило с той же мощностью еще 10^{10} лет.

Осуществление управляемых термоядерных реакций на Земле сулит человечеству новый, практически неисчерпаемый источник энергии. Наиболее перспективна реакция



$${}^2_1H + {}^3_1H \to {}^4_2He + {}^1_0n.$$

В этой реакции выделяется энергия 17 МэВ. Основная трудность состоит в том, чтобы удержать *плазму высокой температуры внутри* установки на протяжении 0,1–1 с. Единственный способ использовать магнитные поля. Однако до сих пор эту задачу решить не удалось.

IV. Закрепление изученного материала

– Какие реакции называют термоядерными?
– Чем объяснить, что при синтезе легких ядер выделяется энергия?
– Каковы условия осуществления термоядерной реакции?
– Приведите примеры термоядерных реакций, напишите их уравнения?
– Что даст человечеству управляемая термоядерная реакция?

V. Подведение итогов урока

Домашнее задание

§ 111.

Урок 129. Ядерный реактор

Цель: объяснить принцип действия ядерного реактора

Ход урока

I. Организационный момент

II. Проверка домашнего задания. Повторение

- Расскажите о механизме протекания цепной ядерной реакции.
- Что называется критической массой урана?
- Возможно ли протекание цепной реакции, если масса урана меньше критической? Почему?
- Как идет цепная ядерная реакция в уране, если его масса больше критической? Почему?
- За счет каких факторов можно увеличить число свободных нейтронов в куске урана, обеспечив тем самым возможность протекания в нем реакции?

III. Изучение нового материала

Ядерные реакторы

При делении тяжелых ядер образуется несколько свободных нейтронов. Это позволяет организовать так называемую цепную реакцию, когда нейтроны, распространяясь в среде, содержащей тяжелые элементы, могут вызвать их деление с испусканием новых свободных нейтронов, Если среда такова, что число вновь рождающихся нейтронов увеличивается, то процесс деления лавинообразно растет. В случае, когда число нейтронов при последующих делениях уменьшается, цепная ядерная реакция затухает.

Для получения стационарной цепной ядерной реакции, очевидно, необходимо создать такие условия, чтобы каждое ядро, поглотившее нейтрон, при делении выделяло в среднем один нейтрон, идущий на деление второго тяжелого ядра.

Ядерным реактором называется устройство, в котором осуществляется и поддерживается управляемая цепная реакция деления некоторых тяжелых ядер.

Цепная ядерная реакция в реакторе может осуществляться только при определенном количестве делящихся ядер, которые могут делиться при любой энергии нейтронов. Из делящихся материалов важнейшим является изотоп $^{235}_{92}U$, доля которого в естественном уране составляет всего 0,714 %.

Ядерные реакторы в зависимости от взаимного размещения горючего и замедлителя подразделяются на гомогенные и гетерогенные. В гомогенном реакторе активная зона представляет собой однородную массу топлива, замедлителя и теплоносителя в виде раствора, смеси или расплава. Гетерогенным называется реактор, в котором

топливо в виде блоков или тепловыделяющих сборок размещено в замедлителе, образуя в нем правильную геометрическую решетку.

При работе реактора в тепловыводящих элементах (твэлах), а также во всех его конструктивных элементах в различных количествах выделяется теплота. Особенность ядерного реактора состоит в том, что 34 % энергии деления превращается в теплоту практически мгновенно, т. е. за время, в течение которого мощность реактора или плотность материалов в нем не успевает заметно измениться. Поэтому при изменении мощности реактора тепловыделение следует без запаздывания за процессом деления топлива.

Однако при выключении реактора, когда скорость деления уменьшается более чем в десятки раз, в нем остаются источники запаздывающего тепловыделения (гамма- и бетта-излучение продуктов деления), которые становятся преобладающими.

Мощность ядерного реактора пропорциональна плотности потока нейтронов в нем, поэтому теоретически достижима любая мощность. Практически же предельная мощность определяется скоростью отвода теплоты, выделяемой в реакторе. Удельный теплосъем в современных энергетических реакторах составляет 10^2–10^3 МВт/м^3, в вихревых – 10^4–10^5 МВт/м^3.

От реактора теплота отводится циркулирующим через него теплоносителем. Характерной особенностью реактора является остаточное тепловыделение после прекращения реакции деления, что требует отвода теплоты в течение длительного времени после остановки реактора.

Хотя мощность остаточного тепловыделения значительно меньше номинальной, циркуляция теплоносителя через реактор должна обеспечивать очень надежно, так как остаточное тепловыделение регулировать нельзя.

Удаление теплоносителя из работавшего некоторое время реактора категорически запрещено во избежание перегрева и повреждения тепловыделяющих элементов.

Устройство энергетических ядерных реакторов

Главным элементом ядерного реактора является активная зона. В ней размещается ядерное топливо и осуществляется цепная реакция деления.

Активная зона представляет собой совокупность определенным образом размещенных тепловыделяющих элементов, содержащих ядерное топливо. В реакторах на тепловых нейтронах используется замедлитель. Через активную зону прокачивается теплоноситель, охлаждающий тепловыделяющие элементы. В некоторых типах ре-

акторов роль замедлителя и теплоносителя выполняет одно и то же вещество, например, обычная или тяжелая вода.

Для управления работой реактора в активную зону вводятся регулирующие стержни из материалов, имеющих большое сечение поглощения нейтронов.

Активная зона энергетических реакторов окружена отражателем нейтронов – слоем материала замедлителя для уменьшения утечки нейтронов из активной зоны. Кроме того, благодаря отражателю происходит выравнивание нейтронной плотности и энерговыделения по объему активной зоны, что позволяет при данных размерах зоны получить большую мощность, добиться более равномерного выгорания топлива, увеличить продолжительность работы реактора, без перегрузки топлива и упростить систему теплоотвода. Активная зона, отражатель и другие элементы размещаются в геометрическом корпусе или кожухе, обычно окруженном биологической защитой.

Основной конструктивной деталью гетерогенной активной зоны является твэл, в значительной мере определяющий ее надежность, размеры и стоимость. В энергетических реакторах, как правило, используются стержневые твэлы с топливом в виде прессованных таблеток двуокиси урана, заключенных в оболочку из стали или циркониевого сплава.

В твэлах происходит генерация основной доли тепловой энергии и передача ее теплоносителю. Более 90 % всей энергии, освобождающейся при делении тяжелых ядер, выделяется внутрь твэлов и отводится обтекающим твэлы теплоносителем. Энергонапряженность ядерного топлива очень высока. Удельное тепловыделение в активной зоне достигает 10^8–10^3 Вт/м^3, в то время как в современных паровых котлах оно не превышает 10^7 Вт/м^3.

Условия работы твэлов в значительной мере определяются конструкцией активной зоны, которая должна обеспечивать проектную геометрию размещения твэлов и необходимое, с точки зрения температурных условий распределение теплоносителя. Через активную зону при работе реактора из мощности должен поддерживаться стабильный расход теплоносителя, гарантирующего надежный теплоотвод. Активная зона должна быть оснащена датчиками внутриреакторного контроля, которые дают информацию о распределении мощности, нейтронного потока, температурных условиях твэлов и расходе теплоносителе. При конструировании активной зоны должна быть предусмотрена возможность введения поглотителя нейтронов для прекращения цепной реакции в любых случаях, связанных с нарушением охлаждения активной зоны.

Классификация реакторов

Реакторы классифицируют по уровню энергии нейтронов, участвующих в реакции деления, по принципу размещения топлива и замедлителя. Целевому назначению, виду замедлителя и теплоносителя и их физическому состоянию.

По уровню энергетических нейтронов реакторы могут работать на быстрых нейтронах, на тепловых и на нейтронах промежуточных (резонансных) энергий и в соответствии с этим делятся на реакторы на тепловых, быстрых и промежуточных нейтронах (иногда для краткости их называют тепловыми, быстрыми и промежуточными).

В настоящее время наибольшее распространение получили реакторы на тепловых нейтронах. Для тепловых реакторов характерны концентрации ядерного топлива $^{235}_{92}U$ в активной зоне от 1 до 100 кг/м^3 и наличие больших масс замедлителя. Для реактора на быстрых нейтронах характерны концентрации ядерного топлива $^{235}_{92}U$ или $^{239}_{92}U$ порядка 1000 кг/м^3 и отсутствие замедлителя в активной зоне.

В реакторах на промежуточных нейтронах и в активной зоне замедлителя очень мало, и концентрация ядерного топлива $^{235}_{92}U$ в ней от 100 до 1000 кг/м^3. В зависимости от способа размещения топлива в активной зоне реакторы делятся на гомогенные и гетерогенные.

В гомогенном реакторе ядерное топливо, теплоноситель и замедлитель (если они есть) тщательно перемешаны и находятся в одном физическом состоянии, т. е. активная зона полностью гомогенного реактора представляет жидкую, твердую или газообразную однородную смесь ядерного топлива, теплоносителя или замедлителя. Гомогенные реакторы могут быть как на тепловых, так и на быстрых нейтронах. Однако гомогенные реакторы имеют серьезные недостатки. Гомогенная смесь, циркулирующая по контуру, испускает сильное радиоактивное излучение, что требует дополнительной защиты и усложняет управление реактором. Только часть топлива находится в реакторе и служит для выработки энергии, а другая часть – во внешних трубопроводах, теплообменниках и насосах.

Циркулирующая смесь вызывает сильную коррозию и эрозию систем и устройств реактора и контура. Образование в гомогенном реакторе в результате радиолиза воды взрывоопасной гремучей смеси требует устройств для ее дожигания. Все это привело к тому, что гомогенные реакторы не получили широкого распространения.

В гетерогенном реакторе топливо в виде блоков размещено в замедлителе, т. е. топливо и замедлитель пространственно разделены. В настоящее время для энергетических целей проектируют только

гетерогенные реакторы. Ядерное топливо в таком реакторе может использоваться в газообразном, жидком и твердом состояниях. Однако сейчас гетерогенные реакторы работают только на твердом топливе.

В зависимости от замедляющего вещества гетерогенные реакторы делятся на графитовые, легководяные, тяжеловодные и органические. По виду теплоносителя гетерогенные реакторы бывают легководяные, тяжеловодные, газовые и жидкометаллические.

Жидкие теплоносители внутри реактора могут быть в однофазном и двухфазном состояниях. В первом случае теплоноситель внутри реактора не кипит, а во втором – кипит.

Реакторы, в активной зоне которых температура жидкого теплоносителя ниже температуры кипения, называются реакторами с водой под давлением, а реакторы, внутри которых происходит кипение теплоносителя, – кипящими.

В зависимости от назначения ядерные реакторы бывают энергетическими, конверторами и размножителями, исследовательскими и многоцелевыми, транспортными и промышленными.

Ядерные энергетические реакторы используются для выработки электроэнергии на атомных электростанциях, в судовых энергетических установках, на атомных теплоэлектроцентралях (ТЭЦ), а также на атомных станциях теплоснабжения (АСТ).

Реакторы, предназначенные для производства вторичного ядерного топлива из природного урана и тория, называются конверторами или размножителями. В реакторе-конверторе вторичного ядерного топлива образуется меньше первоначально израсходованного.

В реакторе-размножителе осуществляется расширенное воспроизводство ядерного топлива, т. е. его получается больше, чем было затрачено.

Исследовательские реакторы служат для исследований процессов взаимодействия нейтронов с веществом, изучения поведения реакторных материалов в интенсивных полях нейтронного и гамма-излучений, радиохимических и биологических исследований, производства изотопов, экспериментального исследования физики ядерных реакторов.

Реакторы имеют различную мощность, стационарный или импульсный режим работы.

Многоцелевыми называются реакторы, служащие для нескольких целей, например, для обработки энергии и получения ядерного топлива.

Энергетическая проблема – одна из важнейших проблем, которые сегодня приходится решать человечеству. Уже стали привычными такие достижения науки и техники, как средства мгновенной связи, быстрый транспорт, освоение космического пространства. Но все это требует огромных затрат энергии. Резкий рост производства и потребления энергии выдвинул новую острую проблему загрязнения окружающей среды, которое представляет серьезную опасность для человечества.

Мировые энергетические потребности в ближайшие десятилетия будут интенсивно возрастать. Какой-либо один источник энергии не сможет их обеспечить, поэтому необходимо развивать все источники энергии и эффективно использовать энергетические ресурсы.

На ближайшем этапе развития энергетики и первые десятилетия XXI в. наиболее перспективными останутся угольная энергетика и ядерная энергетка с реакторами на тепловых и быстрых нейтронах.

IV. Закрепление изученного материала

- Что называют ядерным реактором?
- Что является ядерным горючим в реакторе?
- Какое вещество служит замедлителем нейтронов в ядерном реакторе?
- Каково назначение замедлителя нейтронов?
- Что используется в качестве теплоносителя в ядерных реакторах?
- Что используется в системе управления ходом цепной ядерной реакции деления?
- Что применяется в системе биологической защиты от потока нейтронов и гамма-излучения, возникающих в реакторе?

Домашнее задание

Прочитать и выучить п. 110.

Ответить на вопрос микротекста:

Ядерные реакторы на быстрых нейтронах называют реакторами-размножителями. Что размножают такие реакторы?

а) ядерное горючее;

б) нейтроны;

в) на этих реакторах разгоняют нейтроны до таких скоростей, при которых они могут осуществлять цепные ядерные реакции, т. е. размножаться.

Дополнительный материал

Атомный реактор

Ядерный реактор – это техническая установка, в которой осуществля-

ется самоподдерживающаяся цепная реакция деления тяжелых ядер с освобождением ядерной энергии. Ядерный реактор состоит из активной зоны и отражателя, размещенных в защитном корпусе. Активная зона содержит ядерное топливо в виде топливной композиции в защитном покрытии и замедлитель. Топливные элементы обычно имеют вид тонких стержней. Они собраны в пучки и заключены в чехлы. Такие сборные композиции называются сборками или кассетами.

Вдоль топливных элементов двигается теплоноситель, который воспринимает тепло ядерных превращений. Нагретый в активной зоне теплоноситель двигается по контуру циркуляции за счет работы насосов либо под действием сил Архимеда и, проходя через теплообменник, либо парогенератор, отдает тепло теплоносителю внешнего контура.

Перенос тепла и движения его носителей можно представить в виде простой схемы:

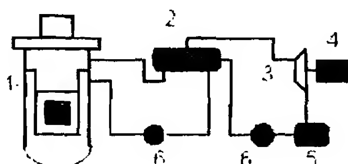


Рис. 106

1. Реактор
2. Теплообменник, парогенератор
3. Паротурбинная установка
4. Генератор
5. Конденсатор
6. Насос

Проблемы развития энергетики

Развитие индустриального общества опирается на постоянно растущий уровень производства и потребления различных видов энергии.

Как известно, в основе производства тепловой и электрической энергии лежит процесс сжигания ископаемых энергоресурсов: угля; нефти; газа, а в атомной энергетике – деление ядер атомов урана и плутония при поглощении нейтронов.

Масштаб добычи и расходования ископаемых энергоресурсов, металлов, потребления воды, воздуха для производства необходимого человечеству количества энергии огромен, а запасы ресурсов, увы, ограничены. Особенно остро стоит проблема быстрого исчерпания запасов органических природных энергоресурсов.

Урок 130. Атомная энергетика

Цель: показать необходимость такой отрасли как атомная энергетика.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Проверка домашнего задания. Повторение

- Что такое ядерный реактор?
- В чем заключается управление ядерной реакцией?
- Назовите основные части реактора.
- Что находится в активной зоне?
- Для чего нужно, чтобы масса каждого уранового стержня была меньше критической массы?
- Для чего нужны регулирующие стержни? Как ими пользуются?
- Какую вторую функцию (помимо замедления нейтронов) выполняет вода в первом контуре реактора?
- Какие процессы происходят во втором контуре?
- Какие преобразования энергии происходят при получении электрического тока на атомных электростанциях?

III. Изучение нового материала

Ядерная энергетика

Применение ядерной энергии для преобразования ее в электрическую впервые было осуществлено в нашей стране в 1954 г. В г. Обнинске была введена в действие первая атомная электростанция (АЭС) мощностью 5000 Вт. Энергия, выделяющаяся в ядерном реакторе, использовалась для превращения воды в пар, который вращал затем связанную с генератором турбину. По такому же принципу действуют введенные в эксплуатацию Нововоронежская, Ленинградская, Курская, Кольская и другие АЭС. Реакторы этих станций имеют мощностью 500–10000 МВт.

Атомные электростанции строятся, прежде всего, в европейской части страны. Это связано с преимуществами АЭС по сравнению с тепловыми электростанциями, работающими на органическом топливе. Ядерные реакторы не потребляют дефицитного органического топлива и не загружают перевозками угля железнодорожный транспорт.

Атомные электростанции не потребляют атмосферный кислород и не засоряют среду золой и продуктами сгорания. Однако размещение АЭС в густонаселенных областях таит в себе потенциальную угрозу.

В реакторах на тепловых (т. е. медленных) нейтронах уран используется лишь на 1–2 %. Полное использование урана достигается в реакторах на быстрых нейтронах, в которых обеспечивается также воспроизводство нового ядерного горючего в виде плутония.

В 1980 г. на Белоярской АЭС состоялся пуск первого в мире реактора на быстрых нейтронах мощностью 600 Мвт.

Ядерной энергетике, как и многим другим отраслям промышленности, присущи вредные или опасные факторы воздействия на окружающую среду. Наибольшую потенциальную опасность представляет радиоактивное загрязнение. Сложные проблемы возникают с захоронением радиоактивных отходов и демонтажем отслуживших свой срок АЭС. Срок их службы около 20 лет, после чего восстановление станций из-за многолетнего воздействия радиации на материалы конструкций невозможно.

АЭС проектируется с расчетом на максимальную безопасность персонала станций и населения. Опыт эксплуатации АЭС во всем мире показывает, что биосфера надежно защищена от радиоактивного воздействия предприятий ядерной энергетики в нормальном режиме эксплуатации.

Однако взрыв четвертого реактора на Чернобыльской АЭС показал, что риск разрушения активной зоны реактора из-за ошибок персонала и просчетов в конструкции реакторов остается реальностью.

Поэтому принимаются строжайшие меры для снижения этого риска. Ядерные реакторы устанавливаются на атомных подводных лодках и ледоколах.

Ядерное оружие

Неуправляемая цепная реакция с большим коэффициентом размножения нейтронов осуществляется в атомной бомбе.

Для того чтобы происходило почти мгновенное выделение энергии (взрыв), реакция должна идти на быстрых нейтронах (без применения замедлителей). Взрывчатым веществом служит чистый уран $^{235}_{92}U$ или плутоний $^{239}_{92}Pu$.

Чтобы мог произойти взрыв, размеры делящегося материала должны превышать критические. Это достигается либо путем быстрого соединения двух кусков делящегося материала с докритическими размерами, либо же за счет резкого сжатия одного куска до размеров, при которых утечка нейтронов через поверхность падает настолько, что размеры куска оказываются надкритическими. И то, и другое осуществляется с помощью обычных взрывчатых веществ. При взрыве бомбы температура достигает десятков миллионов кельвин. При такой температуре резко повышается давление и образуется мощная взрывная волна. Одновременно возникает мощное излучение. Продукты цепной реакции при взрыве бомбы сильно радиоактивны и опасны для живых организмов.

Атомные бомбы были применены США в конце Второй мировой войны против Японии. В августе 1945 г. были сброшены атомные бомбы на японские города Хиросима и Нагасаки.

В термоядерной (водородной) бомбе источником энергии, которая необходима для термоядерного синтеза, служит взрыв атомной бомбы (урановой или плутониевой), помещенной внутри термоядерной.

Нетривиальным решением оказалось то, при котором взрыв атомной бомбы используется не для повышения температуры, а для сильнейшего сжатия термоядерного топлива излучением, образующимся при взрыве атомной бомбы.

В нашей стране основные идеи создания термоядерного взрыва были выдвинуты А.Д. Сахаровым.

IV. Закрепление изученного материала

- В связи с чем в середине XX в. возникла необходимость нахождения новых источников энергии?
- Назовите два основных преимущества АЭС перед ТЭС.
- Назовите три основные проблемы современной атомной энергетики.
- Приведите примеры путей решения проблем атомной энергетики.

V. Подведение итогов урока

Домашнее задание

Прочитать и выучить материал п. 112.

Урок 131. Биологическое действие радиоактивного излучения

Цель: доказать необходимость защиты от излучения.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Проверка домашнего задания. Повторение

- В связи, с чем в середине XX в. возникла необходимость нахождения новых источников энергии?
- Назовите два основных преимущества АЭС перед ТЭС.
- Назовите три принципиальные проблемы современной атомной энергетики?
- Приведите примеры путей решения проблем атомной энергетики.

III. Изучение нового материала

Воздействие атомных станций на окружающую среду

Техногенное воздействие на окружающую среду при строительстве и эксплуатации атомных электростанций многообразен. Обычно говорят, что имеются физические, химические, радиационные и другие факторы техногенного воздействия эксплуатации АЭС на объекты окружающей среды.

Наиболее существенные факторы:

- локальное механическое воздействие на рельеф при строительстве;
- сток поверхностных и грунтовых вод, содержащих химические и радиоактивные компоненты;
- изменение характера землепользования и обменных процессов в непосредственной близости от АЭС;
- изменение микроклиматических характеристик прилежащих районов.

Возникновение мощных источников тепла в виде градирен, водоемов-охладителей при эксплуатации АЭС обычно заметным образом изменяет микроклиматические характеристики прилежащих районов. Движение воды в системе внешнего теплоотвода, сбросы технологических вод, содержащих разнообразные химические компоненты, оказывают травмирующее воздействие на популяции животных, флору и фауну экосистем.

Особое значение имеет распространение радиоактивных веществ в окружающем пространстве. В комплексе сложных вопросов по защите окружающей среды большую общественную значимость имеют проблемы безопасности атомных станций (АС), идущих на смену тепловым станциям на органическом ископаемом топливе. Общепризнанно, что АС при их нормальной эксплуатации намного, не менее чем в 5–10 раз, «чище» в экологическом отношении тепловых электростанций (ТЭС) на угле. Однако при авариях АС могут оказывать существенное радиационное воздействие на людей, экосистемы. Поэтому обеспечение безопасности экосферы и защиты окружающей среды от вредных воздействий АС – крупная научная и технологическая задача ядерной энергетики, обеспечивающая ее будущее.

Отметим возможность не только радиационных факторов возможных вредных воздействий АС на экосистему, но и тепловое и химическое загрязнение окружающей среды, механическое воздействие на обитателей водоемов–охладителей, изменения гидрологических характеристик прилежащих к АС районов, т. е. весь комплекс

техногенных воздействий, влияющих на экологическое благополучие окружающей среды.

Выбросы и сбросы вредных веществ при эксплуатации АС. Перенос радиоактивности в окружающей среде

Исходными событиями, которые могут привести к вредным воздействиям на человека и окружающую среду, являются выбросы и сбросы радиоактивных и токсических веществ из системы АС. Эти выбросы делят на газовые и аэрозольные, выбрасываемые в атмосферу через трубу, и жидкие сбросы, в которых вредные примеси присутствуют в виде растворов или мелко дисперсных смесей, попадающих в водоемы. Возможны и промежуточные ситуации, как при некоторых авариях, когда горячая вода выбрасывается в атмосферу и разделяется на пар и воду.

Выбросы могут быть как постоянными, находящимися под контролем эксплуатационного персонала, так и аварийными. Включаясь в многообразные движения атмосферы, поверхностных и подземных потоков, радиоактивные и токсические вещества распространяются в окружающей среде, попадают в растения, в организмы животных и человека.

Воздействие радиоактивных выбросов на организм человека

Рассмотрим механизм воздействия радиации на организм человека: пути воздействия различных радиоактивных веществ, их распространение в организме, депонирование, воздействие на различные органы и системы организма и последствия этого воздействия. Существует термин «входные ворота радиации», обозначающий пути попадания радиоактивных веществ в организм.

Различные радиоактивные вещества по-разному проникают в организм человека. Это зависит от химических свойств радиоактивного элемента.

Пути проникновения радиации в организм человека

Радиоактивные изотопы могут проникать в организм вместе с пищей или водой. Через органы пищеварения они распространяются по всему организму.

Радиоактивные частицы из воздуха во время дыхания могут попасть в легкие. Но они облучают не только легкие, а также распространяются по организму.

Изотопы, находящиеся в земле или на ее поверхности, испуская гамма-излучения, способны облучить организм снаружи. Эти изотопы также переносятся атмосферными осадками.

IV. Закрепление изученного материала

– В чем причина негативного воздействия радиации на живые существа?
– Что называется поглощенной дозой излучения?
– Расскажите о способах защиты от воздействия радиоактивных частиц и излучения.
– Что используют для защиты от нейтронов?
– С помощью какого прибора можно зарегистрировать величину радиоактивного излучения?
– Как зависит интенсивность радиации от расстояния до источника радиоактивного излучения?

V. Подведение итогов урока

Домашнее задание

Прочитать и выучить материалы § 114.

Дополнительный материал

Обойтись без использования радиоактивности и изотопов человечество не может. Мы используем эти явления практически во всех областях деятельности: медицине, археологии, дефектоскопии, селекции сельскохозяйственных культур.

Например, использование меченых атомов позволяет провести диагностику многих заболеваний, с помощью радиоактивного изотопа йода диагностируют заболевание щитовидной железы на ранней стадии, раковые новообразования сначала облучают радиоактивным кобальтом, а затем уже удаляют больные ткани, заболевания легких распознают на ранней стадии благодаря флюорографии, моментальному рентгеновскому снимку.

По количеству радиоактивного изотопа углерода и органических остатков (дерево, угли из костра, кости животных) археологи достаточно точно определяют возраст своих находок. В промышленности с помощью радиоактивных изотопов определяют качество изделия, однородность поставляющих (например, в бетоне), степень механического износа трущихся и вращающихся поверхностей и многое другое. Современная селекция просто не может обойтись без радиоактивного облучения, с его помощью получают новые сорта уже через несколько поколений, а то и в следующем.

И еще одно использование – ядерные взрывные технологии. К настоящему времени выполнено 115 мирных ядерных взрывов. Глубинное сейсмозондирование земной коры с целью поиска полезных ископаемых, интенсификация нефтяных и газовых месторождений, создание подземных емкостей для хранения газа и конденсата, гашение аварийных газовых фонтанов и многое другое. Достоверные данные о нанесении при этом ущерба жизни и здоровью хотя бы одного человека отсутствуют. Надо помнить, что абсолютно безопасных технологий не бывает.

Материалы для хранения радиоактивных отходов

Немалые трудности возникают с захоронением радиоактивных отходов. Общепринятый подход к разработке материалов для этих целей состоит из трех стадий:

1. Отходы вводятся в относительно нерастворимое химически стойкое вещество.

2. Это вещество заключают в герметичный контейнер.

3. Контейнеры захоранивают в сухой и стабильной геологической структуре.

Для первой стадии применялись и применяются боросиликатное стекло и боросиликатная керамика. Главное требование, предъявляемое к такой керамике, – сильная поглощающая способность по отношению к ядерным частицам – нейтронам и γ-квантам. Из всех веществ наибольшей поглощающей способностью нейтронов обладают легкие элементы H, Li, B, но при поглощении нейтронов происходят ядерные реакции, результатом которых является вторичное излучение. По этой причине защитный материал должен содержать, наоборот, тяжелые элементы, главным образом свинец.

Применение чистого свинца оказывается нецелесообразным из-за его значительной текучести под влиянием даже собственного веса защитной кладки, состоящей из свинцовых кирпичей. Более эффективными γ-защитными материалами являются PbO и более сложные оксиды типа 2PbO, $PbSO_4$. Они обладают высокими плотностями, достаточно высокими рабочими температурами и технологичны в процессах изготовления порошка, при прессовании и спекании. До прессования эти оксиды смешивают с борсодержащими веществами, например с B_2O_3, с карбидом бора B_4C или с боратидами $MeBO_3$ и боридами типа MeB или MeB_2 какого-либо металла Me, дающего, в свою очередь, низкий уровень вторичного γ-излучения. После спекания подобные смеси образуют плотную керамику малой пористости.

Но керамика из боро- и свинцовосодержащих веществ имеет много недостатков. Основной из них – пониженная химическая стойкость. Следует отметить еще более низкую стойкость остальных известных и широко применяемых материалов, например бетонов различного состава. По этой причине, в большинстве случаев, и бетоны, и борсодержащая керамика используются скорее на второй стадии в виде герметичных контейнеров. Для первой стадии общепризнанно, что лишь борсодержащее стекло хорошо удерживает радиоактивные отходы.

Для второй стадии кроме рассмотренных выше керамических материалов испытываются и специальные сплавы, образующиеся в системах Pb–B, Pb–Li и сплавы на основе титана. Сам защитный материал изготовляется в виде керамики, спеченной из порошков таких сплавов. Возможность их практического применения можно выяснить только после глубокого изучения их устойчивости к коррозии в условиях облучения γ-квантами и при повышенных температурах. Например, радиоактивный цезий и стронций способны сохранять без

разрушения оболочку из таких сплавов, при температуре почти 200 °С, около 100 лет. Кроме того, нужно добиться высокой механической прочности предлагаемых сплавов, во избежание повреждения контейнеров с радиоактивными отходами при перевозке к местам захоронения.

Глава 14. Элементарные частицы

Урок 132. Зарождение физики элементарных частиц

Цель: рассказать об элементарных частицах.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Проведение самостоятельной работы

Вариант I

1. Как получают радиоактивные изотопы? (*Облучение α-частицами, γ-излучением, нейтронное облучение*).

2. Что целесообразно применять для защиты от γ-излучения? (*Свинец.*)

3. Что целесообразно применять для защиты от нейтронов? (*Воду, бетон.*)

4. С какой целью используют радиоактивные изотопы в медицине? (*С целью исследования обмена веществ, постановки диагноза, терапевтических целей.*)

5. С помощью какого прибора можно зарегистрировать величину радиационного излучения? (*С помощью счетчика Гейгера.*)

6. Два человека массами 50 и 100 кг получили одинаковую дозу облучения: 3 Гр. В одинаковой ли степени они заражены радиацией? (*В одинаковой.*)

7. Какой естественный фон радиации? (*2·10–3 Гр/год.*)

8. Если расстояние от источника радиоактивного излучения увеличивается в 4 раза, то интенсивность радиации ... (*убывает в 16 раз.*)

9. Длина свободного пробега в одной и той же среде α-частицы значительно меньше, чем β-частицы. Почему α-частица обладает наибольшей способностью вызывать ионизацию молекул?

10. Какая существует зависимость между глубиной проникновения α- и β-частиц в вещество и их ионизирующей способностью?

(*Глубина проникновения α-частиц меньше, но ионизирующая способность больше, чем у β-частиц.*)

Вариант II

1. Каким способом получают радиоактивные изотопы химических элементов? (*Облучают нейтронами, α-частицами, γ-квантами, протонами.*)

2. Для защиты от жесткого рентгеновского и γ-излучений применяются вещества, состоящие из элементов ... (*с высоким атомным номером и имеющих большую плотность.*)

3. Какие вещества при равных толщинах дают наилучшую защиту от γ-излучений – чугун, сталь, свинец? (*Свинец.*)

4. Какие вещества используются для защиты от нейтронов? (*С невысоким атомным номером.*)

5. С какой целью используют радиоактивные элементы в археологии? (*Для определения возраста предметов старины.*)

6. Если расстояние от источника радиоактивного излучения увеличивается в 3 раза, то интенсивность радиации убывает ... (*в 9 раз.*)

7. Если тело человека массой 60 кг поглотило в течение короткого времени радиационную энергию 180 Дж, то какую дозу облучения получил человек? (*3 Гр.*)

8. Какова предельная доза облучения для лиц, работающих с облучением длительное время? (*0,05 Гр/год.*)

9. Какая существует зависимость между глубиной проникновения α-, β-частиц в вещество и их ионизирующей способностью? (*Глубина проникновения α-частиц меньше, но ионизирующая способность больше, чем β-частиц.*)

10. Большая ли проникающая способность γ-излучения, не несущая электрического заряда? (*Да.*)

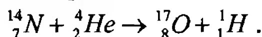
III. Изучение нового материала

В начале XX века было установлено, что все атомы построены из нейтронов, протонов и электронов. Помимо них были открыты позитроны, нейтрино и γ-квант (фотон).

В 1898 г. Дж. Томсон доказал реальность существования электронов. В 1909 г. Р. Милликен впервые измерил заряд электрона:

$$q_e = -1{,}602 \cdot 10^{-19}\ \text{Кл};\ m_e = 9{,}109 \cdot 10^{-28}\ \text{г}.$$

В 1919 г. Э. Резерфорд при бомбардировке азота α-частицами обнаружил частицу, заряд которой равен заряду электрона, а масса в 1836 раз больше массы электрона:



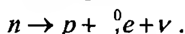
$$^{14}_{7}N + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{17}_{8}O + {}^{1}_{1}H\ .$$

Назвали частицу протон, $m_p = 1{,}6726 \cdot 10^{-27}$ кг.

Резерфорд высказал предположение о существовании частицы, не имеющей заряда, масса которой равна массе протона.

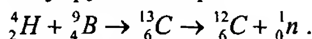
В 1932 г. Д. Чэдвик открыл частицу и назвал ее нейтроном: $m_n = 1{,}001$ mp.

Не входящий в состав ядра ${}_0^1n$ живет около 1000 с, потом распадается на протон, электрон и нейтрино:



$$n \to p + {}_{-1}^{0}e + \nu .$$

Опыт, проведенный супругами Кюри:



$${}_2^4H + {}_4^9B \to {}_6^{13}C \to {}_6^{12}C + {}_0^1n .$$

В 1928 г. П. Дирак предсказал, а в 1932 г. Г. Андерсон открыл позитрон (e^+), фотографируя следы космических частиц в камере Вильсона. Позитрон рождается в паре с электроном, а при некоторых реакциях позитрон рождается в «одиночестве».

Гипотеза А. Эйнштейна, что свет распространяется в виде частиц или фотонов, означала отход от классических представлений. Они являются материальными частицами, имеют инертную массу, но могут существовать только двигаясь со скоростью света, не существуют в состоянии покоя. Сила тяжести действует на фотоны.

В 1931 г. В. Паули предсказал, а в 1955 г. экспериментально зарегистрированы нейтрино ν и антинейтрино $\bar{\nu}$:

$$m_\nu = 0;\ q_\nu = 0.$$

Оно появляется в ходе распада ${}_0^1n$. Протон, электрон и нейтрино являются стабильными частицами, но каждая из них при взаимодействии с другими частицами может превращаться в другие частицы.

В 1935 г. японский физик Х. Юкава предсказал существование новой частицы, которая является переносчиком сильного взаимодействия. В 1947 г. частица была открыта и .олучила название π-мезон (или π-ион). У этой частицы три зарядовых состояния (+; –; 0).

IV. Закрепление изученного материала

– Что такое элементарная частица?
– Каков главный факт существования элементарных частиц?
– За счет чего осуществляется взаимодействие между протонами и нейтронами при сильном взаимодействии?
– В чем заключается природа слабого взаимодействия?
– Что является переносчиком слабого взаимодействия?

V. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 115.

Урок 133. Элементарные частицы, их классификация

Цель: рассмотреть классификацию элементарных частиц.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Проведение самостоятельной работы

Вариант I

1. Одно из свойств элементарных частиц – способность ... (*превращаться друг в друга.*)

2. Какие элементарные частицы называют стабильными? (*Частицы, которые могут существовать в свободном состоянии неограниченное время.*)

3. Является ли нейтрон стабильной частицей? (*Нет.*)

4. Означает ли распад частицы на две или большее число частиц, что данная частица состоит из нескольких частиц? (*Нет.*)

5. Что является главным фактором существования элементарных частиц? (*Взаимное их превращение.*)

6. Какие взаимодействия определяют устойчивость ядер в атомах? (*Ядерные.*)

Вариант II

1. Существуют ли в природе неизменные частицы? (*Не существуют.*)

2. Сколько живет нейтрон вне атома ядра? (*15 минут.*)

3. Опытом, подтверждающим реальность явления превращения электромагнитного поля в вещество, является рождение пар электрон-позитрон при поглощении γ-квантов, обладающих энергией ... (*больше 1 МэВ.*)

4. Какое взаимодействие ответственно за превращение элементарных частиц друг у друга? (*Сильное, слабое, электромагнитное.*)

5. Что является главным фактором существования элементарных частиц? (*Взаимное их превращение.*)

6. Какое взаимодействие носит универсальный характер? (*Гравитационное.*)

III. Изучение нового материала

В 1955 г. был открыт антипротон, а в 1959 г. – антинейтрон. После обнаружения π-мезона было обнаружено много других частиц. Ныне их насчитывается не одна сотня.

Элементарные частицы делятся на четыре класса:
I – Фотоны – только электромагнитное взаимодействие;
II – Лектоны (12 частиц): электрон, мюон, нейтрино и др.
III – Мезоны (8 частиц): π-мезоны, π-ионы и др.
IV – Барионы (18 частиц) протоны, нейтроны и др.

Один из способов классификации элементарных частиц основан на взаимодействии частиц.

Вид взаимодействия	**Взаимодействие частицы**	**Радиус действия сил**	**Относительные силы взаимодействия**	**Частицы – носители взаимодействия**
Сильное	Кварки Нуклоны	10^{-15} м	1	Глюоны Мезоны
Электромагнитное	Частицы с электрическими зарядами	∞	10^{-2}	Фотоны
Слабое	Кварки Лептоны	10^{-17} м	10^{-3}	Промежуточные бозоны
Гравитационное	Все частицы	∞	10^{-39}	Гравитоны

Между элементарными частицами могут осуществляться четыре различных типа взаимодействий. Каждый тип взаимодействия осуществляется с помощью квантов соответствующего поля. Не обнаружены пока экспериментально кванты гравитационного поля (гравитоны).

К настоящему времени на роль «настоящих элементарных частиц, т. е. частиц, не построенных из каких-то других частиц, претендуют шесть легких частиц, называемых нептонами и шесть кварков. Эти частицы называют фундаментальными элементарными частицами. Правда, у каждой из этих частиц имеется своя античастица.

В элементарных процессах сохраняются импульс, энергия, электрический заряд, момент импульса.

Материя не только многообразна в своих формах, но и едина в своей сущности. Аннигиляция медленного позитрона с электроном приводит к возникновению двух фотонов, каждый с энергией $E = m_ec^2$ (аннигиляционное излучение).

Может происходить превращение фотонов в вещество. Фотоны движутся из точки аннигиляции в противоположных направлениях в соответствии с законом сохранения импульса.

IV. Вопросы для закрепления

- Какие типы фундаментальных взаимодействий вы знаете?
- Что общего можно сказать о механизме фундаментальных взаимодействий?
- Что является переносчиком гравитационного взаимодействия?
- Посредством чего осуществляется электромагнитное взаимодействие между заряженными частицами и что является переносчиком взаимодействия?
- За счет чего происходит взаимодействие между протонами и нейтронами при сильном взаимодействии?
- Что такое кварки?
- В чем заключается природа слабого взаимодействия?

V. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 116.

Урок 134. Урок-игра «Поле чудес» по теме: «Атомная физика и физика атомного ядра»

Ход урока

I. Правила игры

Если участник отгадывает три буквы, то может выбирать одну из предложенных шкатулок: одна – пустая, в другой – приз (шоколадка). Если выпал сектор «П» (приз», то в зал вносят ящик с призом (тетрадь, ластик, циркуль, ручка, карандаш и т. д.); сектор «+» дает возможность открыть любую букву; сектор «Б» – банкрот.

II. Ход игры

1. Задание для первой «тройки»

В 19 лет он оканчивает только что открытый Королевский химический колледж и там же продолжает работать ассистентом. Одновременно продолжает работать ассистентом. Одновременно с этим он посещает в Королевском институте лекции Фарадея, которые произвели на него незабываемое впечатление. В 1861 г. он открыл элемент

таллий, а в 1863 г. его избрали членом Королевского общества, где 30 ноября 1878 г. он докладывал о свойствах катодных лучей.

Ходил упорный слух, что он был близок к открытию рентгеновских лучей.

Задание: Назовите фамилию этой удивительно богатой натуры: изобретателя, биржевого дельца, издателя журнала «Химические новости» и исследователя.

Ответ: Уильям Крукс.

2. Задание для второй «тройки»

Рассказывают, что однажды ему для очередного опыта понадобилась новая порция радия. Крупинки радиевой соли, добытые с большим трудом, лежали, запаянные в стеклянные ампулы, в лабораторном шкафу. Вынуть препарат, отбить кончик ампулы – минутное дело. Ученый не раз уже производил эту операцию. Он поднес нож к стеклу, примерился... Но как только лезвие коснулось стекла. Раздался слабый треск. От ампулы к ножу проскочила крохотная искорка, а в склянке образовалась трещина и крохотная дырочка.

Наверное, в наше время это явление не привлекло бы к себе внимания. Мы слишком привыкли к тому, что трещат и стреляют искрами брюки и рубашки из синтетической ткани, одеяла и шубы. Но тогда все было иначе. Кроме того, он был настоящим ученым – человеком, для которого любое необъяснимое явление создавало условия дискомфорта, душевного неудобства. Так продолжалось обычно до тех пор, пока он не понимал сути явления. Однако объяснить, почему за время хранения в ампулах с радиевой солью накопились электрические заряды, он не смог ...

Задание: Назовите фамилию этого ученого.

Ответ: Пьер Кюри.

3. Задание для третьей «тройки»

Итальянский физик. Внес большой вклад в развитие современной теоретической и экспериментальной физики. Родился в семье железнодорожного служащего. В возрасте 25 лет стал профессором теоретической физики в Римском университете. В 1838 г. эмигрировал в Америку, опасаясь преследований своей семьи со стороны итальянских фашистов.

Задание: Назовите ученого, которому впервые на практике удалось осуществить управляемую ядерную цепную реакцию.

Ответ: Энрико Ферми.

4. Игра со зрителями

Рассказывают, что случилось это 10 августа 1915 года. Английский десант высадился на берегу бухты Сувла Галлиполийского полуострова. Пока англичане окапывались, турецкие части перешли в наступление. Засвистели пули. Связисты едва успели протянуть провод в мелкий, не дорытый окоп командного пункта. «Контратаковать, контратаковать!» – надрывался полевой телефон, посылая в пустоту свои команды. Фуражка, сползшая с головы офицера связи, прикрыла маленькое отверстие в виске от турецкой пули.

Задание: Как звали офицера связи, которому было только 27 лет, но он уже сделал для науки столько, сколько большинству не удается сделать и за срок вдвое больший?

Ответ: Генри Мозли.

5. Финальная игра

Физик и химик, по национальности полька, работала во Франции, член академий многих стран, в том числе член-корреспондент Петербургской академии наук, а затем почетный член Академии наук СССР, лауреат Нобелевских премий за 1903 и 1911 гг. Она является одним из основоположников учения о радиоактивных элементах. В 1898 г. совместно с мужем открыла радиоактивные элементы полоний и радий. По поручению Брюссельского радиологического конгресса изготовила первый эталон радия, хранящийся поныне в Международном бюро мер и весов.

Задание: Эту женщину по праву можно назвать великим ученым. О ком идет речь?

Ответ: Мария Склодовская-Кюри.

6. Супер-игра

Немецкий ученый, один из основоположников физики XX в., создатель теории относительности. Он впервые установил, что свет, наряду с волновыми обладает также и корпускулярными свойствами. Ему принадлежат также работы по квантовой статистике, теория броуновского движения, теория фотоэффекта. Его, решительного

противника косности мышления во всех ее проявлениях, ненавидели реакционеры от науки до политики.

Приход к власти фашистов сделал невозможным пребывание этого ученого в Германии. В фашистском спецальбоме после перечня его «преступлений» стояла пометка: «еще не повешен». Его спасла эмиграция – в 1933 г. он оказался в США. Там он занял место профессора Принстонского института высших исследований.

Задание: Назовите фамилию этого знаменитого ученого, лауреата Нобелевской премии 1921 г. за разработку теории фотоэффекта.

Ответ: Альберт Эйнштейн.

III. Подведение итогов игры

Значение физики для объяснения мира и развития производительных сил общества

Урок 135. Физика и Вселенная

Цель: показать взаимосвязь явлений.

Ход урока

Физика – наука о природе, изучающая простейшие и вместе с тем наиболее общие закономерности природы, строение и законы движения материи. Физику относят к точным наукам. Ее понятия и законы составляют основу естествознания. Границы, разделяющие физику и другие естественные науки, исторически условны. Принято считать, что в своей основе физика является наукой экспериментальной, поскольку открытые ею законы основаны на установленных опытным путем данных. Физические законы представляются в виде количественных соотношений, выраженных на языке математики. В целом физика разделяется на экспериментальную, имеющую дело с проведением экспериментов с целью установления новых фактов, проверки гипотез и известных физических законов, и теоретическую, ориентированную на формулировку физических законов, объяснение на основе этих законов природных явлений и предсказание новых явлений.

Структура физики сложна. В нее включаются различные дисциплины или разделы. В зависимости от изучаемых объектов выделяют физику элементарных частиц, физику ядра, физику атомов и молекул, физику газов и жидкостей, физику плазмы, физику твердого тела. В зависимости от изучаемых процессов или форм движения материи выделяют механику материальных точек и твердых тел, механику сплошных сред (включая акустику), термодинамику и статистическую механику, электродинамику (включая оптику), теорию тяготения, квантовую механику и квантовую теорию поля. В зависимости от ориентированности на потребителя получаемого знания выделяют фундаментальную и прикладную физику. Принято выделять также учение о колебаниях и волнах, рассматривающее механические, акустические, электрические и оптические колебания и волны под единым углом зрения. В основе физики лежат фундаментальные физические принципы и теории, которые охватывают все разделы физики и наиболее полно отражают суть физических явлений и процессов действительности.

Единую полную теорию всего происходящего во Вселенной построить невозможно, поэтому сначала создаются частные теории, объединяющие какие-то части Вселенной. Надежды на создание непротиворечивой единой теории, в которую войдут все частные теории, не оставляют физиков. Создание такой теории принято называть объединением физики. Его созданию Эйнштейн безуспешно отдал последние годы своей жизни. Но, отказавшись принять реальность квантовой механики, ее принцип неопределенности как фундаментальный принцип мироздания, он не смог достичь успех на этом поприще.

С. Хокинг и другие физики-теоретики с оптимизмом (хотя и осторожным) смотрят на возможность построения единой теории, завершающей поиски окончательных законов природы.

Сейчас имеет место общая теория относительности, представляющая собой частную теорию гравитации. Есть частные теории, описывающие слабые, сильные и электромагнитные взаимодействия, – их можно объединить в теорию великого объединения. Но последняя физиками не признается удовлетворительной, поскольку не включает гравитацию и содержит величины, которые не выводятся теоретически, а подбираются путем их наилучшего согласия с экспериментом (например, относительные массы разных частиц). Считается, что основной трудностью построения теории, объединяющей гравитацию с другими силами, является невключенность квантово-механического принципа неопределенности в классическую общую теорию относительности. Поэтому исходным моментом создания единой теории является объединение общей теории относительности и принципа неопределенности квантовой механики. В результате этого объединения черные дыры перестают быть таковыми, исчезают сингулярности, Вселенная становится замкнутой и безграничной. Но в этом случае возникают трудности, обусловленные тем, что, в соответствии с принципом неопределенности, пространство должно быть заполнено парами виртуальных частиц и античастиц, обладающих бесконечной энергией и бесконечной массой. Создаваемое ими гравитационное притяжение должно привести к сворачиванию Вселенной до бесконечно малых размеров. Подобные парадоксы бесконечности обычно устраняются с помощью перенормировки – процедуры введения новых бесконечностей для компенсации старых. В частных теориях полученные с помощью перенормировки предсказания согласуются с результатами наблюдений. В плане же создания полной теории метод перенормировок не позволяет теоретически предсказывать действительные значения масс и сил, поэтому их приходится подбирать подгонкой к эксперименту. Есть лишь

два числа, которые можно подгонять при включении принципа неопределенности в общую теорию относительности. Это – величина гравитационной силы и космологическая постоянная. Однако их изменения не могут устранить бесконечность. Получается, что мы имеем теорию, в соответствии с которой, некоторые величины (например, кривизна пространства – времени) являются бесконечными, хотя из изменений вытекает, что они конечны. Поэтому для выхода из положения стали использовать так называемую теорию супергравитации, которая бесконечности устраняла, хотя оставалось сомнение в том, все ли бесконечности устранялись, а затем физики обратились к теориям струн в которых прогнозировалось сокращение бесконечностей[1].

С. Хокинг допускает три варианта ответа на вопрос, возможна ли единая теория. Первый вариант: полная теория может быть сформулирована. Второй вариант: единой полной теории нет, а есть лишь бесконечная последовательность теорий, дающих все более точное описание Вселенной. Третий вариант единой полной теории Вселенной не существует, события в последней происходят произвольно и беспорядочно и не могут быть предсказаны далее некоторого предела. Если ставить цель – найти систему законов, дающих возможность предсказывать события в пределах точности, устанавливаемой принципом неопределенности, то тем самым третий вариант исключается. Вторая возможность, исходящая из существования бесконечной последовательности все более точных теорий, согласуется с нашим опытом. Но последовательность все более точных теорий при переходе к более высоким энергиям может иметь предел. При каких-то энергиях и должна существовать единая теория Вселенной. Столь высокие энергии могли возникнуть на ранних стадиях развития Вселенной. Поэтому изучение ранней Вселенной может привести к созданию полной единой теории.

Если бы полная единая теория оказалась математически непротиворечивой и ее предсказания совпадали с опытом, то «этим завершилась бы длинная и удивительная глава в истории интеллектуальной борьбы человечества за познание Вселенной»[2]. Но создание такой теории не означает, что мы сможем предсказывать события вообще, ибо возможности предсказаний ограничиваются, во-первых, принципом неопределенности и, во-вторых, неумением находить точные решения описывающих теорию уравнений (а потому необходима

---

[1] См.: *Хокинг. С.* Краткая история времени от большого взрыва до черных дыр.

[2] Там же.

разработка приближенных методов, позволяющих предсказывать результаты в реальных ситуациях).

До недавнего времени считалось, что Вселенная не изменяется со временем – из того, что гравитационные силы являются всегда силами притяжения, следует, что Вселенная должна либо расширяться, либо сжиматься. Из общей теории относительности известно, что в прошлом было состояние с бесконечной плотностью и большой взрыв, положивший начало отсчету времени. Если Вселенная начнет сжиматься, то в будущем должно появиться еще одно состояние с бесконечной плотностью – произойдет большой хлопок, означающий конец течения времени. В образовавшихся черных дырах возникнут сингулярности, в которых законы перестанут действовать.

При объединении квантовой механики и общей теории относительности может возникнуть новая возможность, когда пространство и время образуют конечное четырехмерное пространство без сингулярностей и границ. С помощью этой возможности можно было бы объяснить однородность Вселенной в больших масштабах и отклонения от однородности в меньших масштабах (галактики, звезды, человеческие существа), а также существование наблюдаемых стрел времени.

Предположим, что единая полная теория создана – это будет набор правил и уравнений. Но ведь она не отвечает на вопрос, почему должна существовать Вселенная, которую описывает эта теория. «Пока большинство ученых слишком заняты развитием новых теорий, описывающих что есть Вселенная, и им некогда спросить себя, почему она есть. Философы же, чья работа в том и состоит, чтобы задавать вопрос «почему», не могут угнаться за развитием научных теорий. В XVIII веке философы считали все человеческие знания, в том числе и науку, полем своей деятельности и занимались обсуждением вопросов типа: было ли у Вселенной начало? Но расчеты и математический аппарат науки XIX и XX вв. стали слишком сложны для философов и вообще для всех, кроме специалистов. Философы настолько сузили круг своих запросов, что самый известный философ нашего века Витгенштейн по этому поводу сказал: «Единственное, что еще остается философии, – это анализ языка. Какое унижение для философии с ее великими традициями от Аристотеля до Канта»[1].

Итак, что же представляет собой современная физика и какова тенденция ее развития? Будет целесообразно взглянуть на пройденный физикой путь глазами её творцов и оценить достигнутое их сло-

[1] *Хокинг С.* Краткая история времени от большого взрыва до черных дыр.

вами. Прежде всего, что представляет собой физика как целостное образование?

Физика, в представлении В. Вайскопфа, – это дерево, в нижней части ствола которого находятся классическая физика, электродинамика и физика теплоты вместе с широко раскинувшимися ветвями, символизирующими обширные приложения этих направлений. Выше по стволу находится атомная физика с ее ветвями, такими как химия, материаловедение, электроника и оптика. Еще выше расположена ядерная физика с ее молодыми ветвями, символизирующими науку о радиоактивности, метод меченых атомов, геологию и астрофизические приложения. На вершине, где пока нет ветвей, помещаются современные физика элементарных частиц и космопология. Шестьдесят лет назад верхушкой без ветвей была атомная физика.[1]

Следующий вопрос: какова роль физики в современном мире? По этому поводу В. Гейзенберг выразился следующим образом: «...современная физика представляет собой только одну, хотя и весьма характерную сторону общего исторического процесса, имеющего тенденцию к объединению и расширению нашего современного мира <...> в двух решающих пунктах, она, по-видимому, помогает направить развитие по мирным рельсам. Во-первых, она показывает, что применение оружия в этом процессе имело бы чудовищные последствия, и, во-вторых, своей доступностью для многих исторически сложившихся способов мышления она пробуждает надежду, что в окончательном состоянии различные культурные традиции, новые и старые, буду сосуществовать, что весьма разнородные человеческие устремления могут быть соединены для того, чтобы было новое равновесие между мыслями и действием, между содержательностью и активностью»[2].

И еще один вопрос: какова цель физической науки? А. Эйнштейн и Л. Инфельд, завершая свою книгу «Эволюция физики»[3], отмечают, что физические концепции стремятся представить картину реальности и установить ее связь с миром чувственных восприятий. Одним из первичных понятий выступает понятие объекта. Понятие любого материального объекта создается на основе опыта. Физика фактически начинается с введения понятия массы, силы и инерциальной системы, которые приводят к формулировке механической картины действительности. Для физика XIX века реальность внешнего мира состояла из частиц, между которыми действуют простые силы, кото-

---

[1] См.: *Вайскопф В.* Физика в двадцатом столетии. М., 1977.С. 265.

[2] *Гейзенберг В.* Физика и философия. М., 1963.С. 175–176.

[3] *Эйнштейн А., Инфельд Л.* Эволюция физики. М., 1965.С.240–242.

рые зависели только от расстояния. Он верил в то, что с помощью этих понятий удастся объяснить все явления природы. Когда физики столкнулись с явлениями электромагнитного характера, было введено понятие электромагнитного поля (ибо понятие электромеханического эфира в объяснении электромагнитных явлений не могло вскрыть их сущность). Для того, чтобы понять, что не поведение тел, а поведение чего-то находящегося между ними, т. е. поля, упорядочивает явления и позволяет понять их сущность, требовались значительные психологические усилия. Дальнейшее развитие науки отбросило старые понятия и ввело новые. Так, теория относительности отбросила понятие абсолютного пространства и времени и ввела понятие четырехмерного пространственно-временного континуума. Квантовая теория раскрыла новые существенные черты реальности: прерывность встала на место непрерывности, вместо законов, управляющих индивидуальными объектами, появились вероятностные законы. Но цель физических теорий осталась прежней – с их помощью мы пытаемся вскрыть сущность наблюдаемых фактов, упорядочить и постичь мир чувственных восприятий. То есть мы стремимся к тому, чтобы наблюдаемые факты следовали из нашего понимания реальности. Без веры во внутреннюю гармонию нашего мира, без веры в возможность охватить реальность с помощью теоретических построений не может быть науки.

Огромное разнообразие фактов в области атомных явлений заставляет изобретать и вводить в обиход новые физические понятия. Вещество состоит из элементарных частиц – элементарных квантов вещества. Свет также состоит из фотонов – квантов энергии. Поиски ответов на вопросы, чем является свет – волной или ливнем фотонов, чем является пучок электронов – ливнем элементарных частиц или волной, побуждает еще дальше отступить от механического мировоззрения. Квантовая физика и формулирует законы, управляющие совокупностями, а не индивидуумами. В квантовой физике описываются не свойства, а вероятности, формулируются законы, управляющие изменениями во времени вероятностей, относящиеся к большим совокупностям индивидуумов, а не законы, раскрывающие будущее системы, как это присуще классической физике.

Таким образом, немногим более ста лет назад наука была описательной: описание движения твердых тел или жидкостей в механике и гидродинамике, свойств электрических и магнитных полей в электродинамике, реакции атомов и молекул в химии. Затем цели физики изменились: от описания она перешла к объяснению. Прогресс науки, осуществленный Планком, Эйнштейном, Резерфор-

дом, Бором, Зоммерфельдом, Шредингером, Гейзенбергом, Паули и Дираком привел к открытию кванта действия, атома, обладающего ядром, квантованных орбит, квантовой механики, динамики атома. Следующий этап в развитии физики открылся работами М. Склодовской-Кюри, позволившими приступить к изучению внутреннего строения атомного ядра. Исследования структуры атома выявили огромное разнообразие элементарных частиц, что заставило физиков искать в этом разнообразии единство и пытаться строить концепцию объединения физики. Классический этап в развитии физики с построением квантовой теории уступил место неклассическому. Сегодня физика начинает переход к постнеоклассическому этапу своего развития. Сложившаяся на неклассическом этапе развития физики картина мира является принципиально незавершенной – ощущается все большая потребность в переходе к эволюционной парадигме.

ПОУРОЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ
к учебнику
В.А. Касьянова

Урок 1. Электрический ток. Сила тока. Условия, необходимые для существования электрического тока

Цели: выяснить природу электрического тока; закрепить знания об условиях возникновения и существования электрического тока.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Изучение нового материала

Эксперимент

Заряженный электрометр соединен с таким же незаряженным.

Что происходит? Второй электроскоп показывает наличие заряда? Заряд перенесен свободными зарядами электронами, движущимися по проводнику.

Направленное движение заряженных частиц называется электрическим током.

В металлах свободными являются электроны, в растворах солей, электролитов – положительные и отрицательные ионы, в газах – ионы и электроны.

Чтобы существовал электрический ток необходимо:

1. Наличие свободных заряженных частиц.

2. Наличие электрического поля (поле создают источники тока).

Увидеть электроны (ионы) в проводнике невозможно. Как же можно обнаружить электрический ток? Ток обнаруживается по действию, которое он производит.

Тепловое действие тока

Эксперимент

Присоедините к полюсам источника тока железную или никелиновую проволоку. Проволока нагреется и удлинится, слегка провиснет. Ее можно раскалить докрасна.

Химическое действие тока

Эксперимент

В сосуд с электролитом, в качестве которого используется $CuSO_4$, опустите два угольных электрода и подключите их к источнику тока.

При этом катод постепенно покрывается красным слоем меди, а на аноде выделяются пузырьки газа.

Магнитное действие тока

Эксперимент

На железный гвоздь намотайте медный провод, покрытый изоляционным материалом, а концы провода соедините и источником тока.

Гвоздь становится магнитом и притягивает небольшие железные предметы: булавки, железные опилки.

Механическое действие тока

Эксперимент

На рамку намотайте несколько витков медного провода. Концы обмотки присоедините к полюсам источника тока. Поместите рамку между полюсами магнита. При этом она начнет поворачиваться.

Физиологическое действие тока

При прохождении через живой организм ток вызывает сокращение мышц.

Если в цепи установился электрический ток, это означает, что через поперечное сечение проводника все время переносится электрический заряд. Заряд, перенесенный в единицу времени, служит основной количественной характеристикой тока, называемой силой тока.

$$I = \frac{\Delta \varepsilon}{\Delta t}.$$

Сила тока величина скалярная. Она может быть как $I > 0$, если направление тока совпадает с условием, выбранным положительным направлением вдоль проводника, в противном случае $I < 0$.

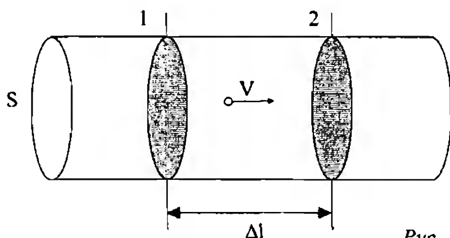


Рис. 107

Пусть проводник имеет сечение площадью S (рис. 107). В объеме, ограниченном 1 и 2 содержится $N = nS\Delta l$ частиц с общим зарядом $q = q_0 \cdot N$, $q = q_0 nS\Delta l$, где q_0 – заряд одной частицы.

Если частица движется со средней скоростью υ:

$$\Delta t = \frac{\Delta l}{\upsilon};$$

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{q_0 n S \Delta l \upsilon}{\Delta l};$$

$$I = q_0 n \upsilon S.$$

Найдем скорость перемещения электронов в металлическом проводнике. $\upsilon \approx 7 \cdot 10^{-5}$ м/с. Она достаточно мала.

Для создания и поддержки упорядоченного движения заряженных частиц необходима сила, действующая на них в определенном направлении.

Если сила перестанет действовать, то упорядоченное увеличение заряженных частиц прекратится из-за сопротивления:

$$\vec{F} = q\vec{E}.$$

Именно электрическое поле внутри проводника служит причиной, вызывающей и поддерживающей упорядоченное движение, если внутри проводника имеется электрическое поле, то между концами проводника существует разность потенциалов:

$$E = \frac{U}{\Delta d}.$$

Если разность потенциалов не меняется во времени, то устанавливается постоянный электрический ток.

III. Закрепление изученного материала

- Что такое электрический ток?
- Что нужно создать в проводнике, чтобы в нем существовал ток?
- Как можно наблюдать химическое действие тока?
- Где используется тепловое действие тока?
- Направление движения каких частиц в проводнике принято за направление тока?
- Какой величиной определяется сила тока в электрической цепи?
- Что принимают за единицу силы тока?
- Как называется эта величина?

IV. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 1, 2.

Урок 2. Электрическая проводимость различных веществ. Электронная проводимость металлов

Цель: установить различие в условии существования в твердых, жидких и газообразных телах.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Изучение нового материала

Для существования электрического тока необходимо два условия существования электрического поля и свободные заряженные частицы. Мы уже знаем, что в металлах свободными зарядами являются электроны. Познакомились с вольтамперной характеристикой этих проводников.

Немецкий физик К. Рикке в 1901 г. провел следующий опыт. Три предварительно взвешенных цилиндра (два медных и один алюминиевый) Рикке сложил отшлифованными торцами так, что алюминиевый оказался между медными. Затем цилиндры были включены в цепь постоянного тока: через них в течение года проходил ток. Вторичное взвешивание цилиндров показало, что масса цилиндров не изменилась. При исследовании торцов не было обнаружено проникновение одного металла в другой. Результаты свидетельствовали о том, что в переносе заряда в металлах ионы не участвуют. Для выявления природы носителей тока в металлах Л. И. Мандельштам и Н. Д. Пакалекси в 1913 г. провели следующий опыт.

Если металлический стержень движется поступательно со скоростью V, то носители тока в результате их взаимодействия с кристаллической решеткой движутся также со скоростью V. При резком торможении стержня носители тока будут продолжать двигаться по инерции. Поэтому в замкнутой цепи появляется кратковременный ток, который обнаруживается с помощью гальванометра. В этих опытах было определено отношение заряда к массе носителей заряда. Зная заряд электрона, можно было определить массу частиц. Она оказалась порядка 10^{-30} кг, что в несколько тысяч раз меньше массы иона. Вывод: носителями могли быть только электроны.

Немецкий физик П. Друде в 1900 г., опираясь на представление об электрическом токе в металлах как упорядоченном движении свободных электронов мѐжду ионами кристаллической решетки под действием внешнего электрического поля, создал теорию электропроводимости металлов. В основе этой теории лежат следующие допущения:

1. Свободные электроны в металлах ведут себя как молекулы идеального газа: «электронный газ» подчиняется законам идеального газа.

2. Движение свободных электронов в металлах подчиняется законам классической механики Ньютона.

3. Свободные электроны в процессе их хаотического движения сталкиваются не между собой, а с ионами кристаллической решетки.

4. При столкновениях электронов с ионами электроны передают ионам свою кинетическую энергию полностью.

Эти допущения огрубляют истинную картину явления, но, несмотря на это, на основе электронной теории и удалось объяснить основные законы электрического тока в металлах.

Построить удовлетворительную количественную теорию движения электронов в металле на основе законов классической механики невозможно. Движение электронов в металле подчиняется законам квантовой физики.

Наряду с металлами хорошими проводниками являются водные растворы или расплавы электролитов.

Эксперимент. Пропускание электрического тока через водный раствор поваренной соли.

В обычных условиях газ является изолятором, но если газ ионизируется, то он становится проводником.

Эксперимент. Электрическая дуга.

К двум угольным электродам присоединяют трансформатор типа КАТ, у которого имеются гнезда на 30 В. Сводят угли до соприкосновения и разводят. Наблюдается горение дуги в воздухе.

Кроме проводников и диэлектриков имеется группа веществ, проводимость которых занимает промежуточное положение между проводниками и диэлектриками. Они получили название полупроводников.

III. Вопросы для закрепления

- В чем заключается опыт Рикке? Какова его основная идея?
- В чем заключается идея опыта Мандельштама–Папаленси.
- Каковы основные положения электронной теории электропроводимости металлов?
- Какие вещества называют полупроводниками?
- Какие вещества относятся к электролитам?
- В результате какого процесса газ становится электропроводным?

IV. Подведение итогов урока

Домашнее задание

§ 2

Урок 3. Основные представления электронной теории металлов. Постоянный ток в проводнике

Цель: рассмотреть классическую электронную теорию.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение изученного материала

- Что называется электрическим током?
- Какие направления тока принимают за положительные?
- Какое условие необходимо для существования электрического поля?
- Что называется силой тока?
- Какая формула выражает смысл этого понятия?
- В каких единицах измеряется сила тока?

III. Изучение нового материала

Электрический ток может проходить через различные вещества: металлы, растворы и расплавы электролитов, при особых условиях в газах.

Для того чтобы возник электрический ток необходимо, чтобы имелись заряженные частицы, способные перемещаться под действием электрического поля. Такими частицами могут быть электроны и ионы.

При прохождении электрического тока через металлические проводники, электрический ток не вызывает никаких изменений в проводнике, кроме нагревания.

Это было подтверждено опытом Э. Рикке (1901 г.). В его опыте электрический ток пропускался в течение года через три прижатых друг к другу, хорошо отшлифованных цилиндра – медный, алюминиевый, медный. Заряд, который прошел за это время, очень велик ($3{,}5 \cdot 10^6$ Кл). После окончания было установлено, массы цилиндров не изменились, имелись незначительные следы взаимного проникновения металлов, которые не превышали результатов обычной диффузии. Следовательно, свободными зарядами в металлах являются электроны.

Прямое доказательство справедливости этого предположения было получено в опытах, поставленных в 1913 г. русскими физиками Л. И. Мандельштамом и Н. Д. Папалески и в 1916 г. англичанами Р. Толченом и Т. Стюартом.

Электроны в металлах находятся в непрерывном движении. У большинства металлов каждый атом ионизирован. Поэтому $\bar{\upsilon} = 0{,}7$ мм/с.

Скорость упорядоченного движения электронов мала. Она в сотни миллионов раз меньше средней скорости теплового движения электронов. Почему же лампа включается почти мгновенно? С огромной скоростью распространяется электрическое поле 300 000 м/с.

Основные представления классической электронной теории металлов сводятся к следующим положениям:

1. Металлы имеют кристаллическую решетку, в узлах которой находятся положительные ионы.

2. Между узлами кристаллической решетки движутся свободные электроны. Движение происходит по законам классической механики.

3. Из-за многочисленных столкновений движение свободных электронов носит частный характер.

4. При наличии электрического поля к хаотическому движению накладывается дрейф электронов.

5. Внешнее поле не влияет на концентрацию носителей тока и среднее время их свободного пробега.

IV. Закрепление изученного материала

- Перечислите вещества, являющиеся хорошими проводниками электрического тока.
- Перечислите необходимые условия для существования электрического тока в металлах.
- Что называют электрическим током в металлах?
- Какой эксперимент подтвердил существование в металлах свободных электронов?
- По какой формуле определяется сила тока в проводнике?

V. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 1, 2.

Повторить записи в тетради.

Урок 4. Сопротивление проводника

Цели: определить, от каких параметров зависит сопротивление проводника; ознакомить с явлением сверхпроводимости.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение

- Почему проводник, по которому идет ток нагревается?
- От чего зависит электрическое сопротивление проводника?

– Сформулируйте закон Джоуля-Ленца.

III. Проведение лабораторной работы

Лабораторная работа
«Определение теплоемкости твердого тела (электрическим методом)»

Ход работы

1. Возьмите твердое тело цилиндрической формы и определите его массу на рычажных весах.

2. Поместите его в войлочный чехол и установите иммерсионный нагреватель и термометр.

3. Замкните цепь и при помощи реостата добейтесь получения подходящего значения силы тока и напряжения.

4. Отмерьте начальную температуру, включите секундомер и замкните цепь ключом.

5. Когда произойдет заметное повышение температуры, отметьте время и наивысшую температуру.

$$Q = mc\Delta t\ ;\ Q = IU\tau\ ;$$

$$mc\Delta t = IU\tau\ ;$$

$$c = \frac{IU\tau}{m\Delta t}.$$

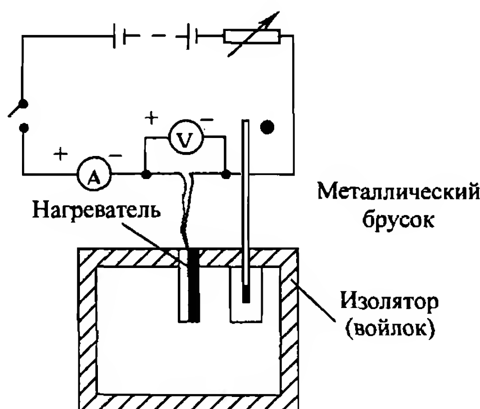


Рис. 108

6. Сделайте вывод.

IV. Изучение нового материала

Согласно электронной теории:

$$R = \frac{m}{l^2 n \tau} \cdot \frac{l}{S},$$

но $R = \rho \frac{l}{S} \Rightarrow \rho = \frac{m}{l^2 n \tau}$ – удельное сопротивление проводника.

Сопротивление металлов связано с тем, что электроны, движущиеся в проводнике, взаимодействуют с ионами кристаллической решетки и теряют часть своей энергии, которую они приобретают в электрическом поле. Так как масса и заряд электрона постоянны, концентрация электронов проводимости в металлах фактически не зависит от внешних воздействий, число соударений электронов с ионами зависит от температуры, поэтому удельное сопротивление металлов должно зависеть от температуры.

Опыт

В цепь, содержащую батарею аккумуляторов и стальную спираль последовательно включите лампу, направляя спираль при помощи горелки. При этом наблюдается уменьшение яркости лампы. Уменьшилась сила тока, увеличилось сопротивление.

Замените стальной проводник на другой. При повышении температуры сопротивление металлов увеличивается приблизительно пропорционально их абсолютной температуре.

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha \Delta T);$$

$$\alpha \approx 0{,}004 \text{ К}^{-1};$$

$$R = R_0 (1 + \alpha \Delta T).$$

Из выражения $\rho = \frac{mU}{l^2 n \lambda}$, $\lambda = U\tau$ следует, что удельное сопротивление должно быть пропорционально квадратному корню из температуры. Между тем, из опыта известно, что удельное сопротивление пропорционально абсолютной температуре.

Это не единственная трудность классической теории проводимости металлов. Эти и другие противоречия разрешимы только с помощью квантовой физики.

В начале XX века голландский ученый Г. Камерлинг-Онмес превратил в жидкое состояние гелий. Температура кипения жидкого гелия 4,2 °К.

Исследуя сопротивление ртути он обнаружил, что при 4,12 °К сопротивление упало до нуля.

Это явление потери металлом электрического сопротивления при определенной температуре получило название сверхпроводимость.

Интерес к явлению возрастал по мере обнаружения материалов, у которых сверхпроводимость наступает при более высокой температуре.

В 1987 г. стали известны материалы, обладающие сверхпроводимостью при температуре около 100 °К. Исследования в этой области ведутся очень интенсивно. Теоретически предсказана возможность получения сверхпроводящих материалов при комнатной температуре. Интересно, что такими материалами является простая керамика. В настоящее время научились получать сверхпроводящие пластины и проволоку из этого хрупкого материала.

V. Закрепление изученного материала

– В чем причина зависимости сопротивления проводников от температуры?
– При включении электрической лампы сила тока в первый момент значительно отличается от силы тока в лампе, когда она начинает светить. Почему?
– В чем состоит явление сверхпроводимости?

VI. Решение задач

1. Электрическое сопротивление вольфрамовой нити электрической лампы при температуре 23 °C равно 4 Ом. Найдите электрическое сопротивление нити при 0 °C. $\alpha = 4{,}8 \cdot 10^{-3}$ К$^{-1}$.

(*Ответ:* 3,6 Ом).

2. Электрическое сопротивление вольфрамовой нити при 0 °C равно 3,6 Ом. Найдите электрическое сопротивление при температуре 2700 °К.

(*Ответ:* 45,5 Ом).

3. Электрическое сопротивление проволоки при температуре 20 °C равно 25 Ом, при температуре 60 °C – 20 Ом. Найдите температурный коэффициент электрического сопротивления.

(*Ответ:* $-4{,}5 \cdot 10^{-3}$ К$^{-1}$).

4. Каков температурный коэффициент электрического сопротивления материала проводника, если при нагревании от 0 °C до 100 °C его электрическое сопротивление увеличилось на 0,1 %.

(*Ответ:* 10^{-5} К$^{-1}$).

VII. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 9, 10.

Урок 5. Закон Ома для участка цепи. Сопротивление

Цели: познакомить учащихся с электрическим сопротивлением проводников как физической величиной; вспомнить закон Ома.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение изученного материала

- Что такое электрическое напряжение? (*Разность потенциалов.*)
- По какой формуле находится напряжение?
- Как называется прибор для измерения напряжения?
- Как обозначается напряжение на схемах?
- Какими правилами следует руководствоваться при включении вольтметра в цепь?

III. Изучение нового материала

Для существования тока в проводнике необходимо создать разность потенциалов на его концах. Сила тока определяется этой разностью потенциалов. Чем больше напряженность электрического поля в проводнике, тем большую скорость направленного движения приобретают заряженные частицы.

Для каждого проводника – твердого, железного и газообразного существует определенная зависимость силы тока от приложенной разности потенциалов на концах проводника.

Такая зависимость называется вольт-амперной характеристикой проводника. Наиболее простой вид имеет вольт-амперная характеристика металлических проводников и растворов электролитов. Впервые (для металлов) ее установил Георг Ом, поэтому зависимость силы тока от напряжения носит название ***закон Ома***:

$$I = \frac{U}{R}.$$

IV. Анализ экспериментов

Эксперимент 1

Соберем цепь (см. рис. 109):

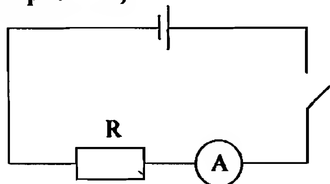


Рис. 109

Резистор представляет собой кусок проволоки. Запомним показания амперметра.

Заменим резистор на кусок проволоки из другого материала такой же длины и с той же площадью поперечного сечения. Показания изменились. Напряжение оставалось неизменным.

Сила тока зависит от свойств проводника. Разные проводники обладают различными сопротивлениями. Видно, что сопротивление зависит от материала, из которого изготовлен проводник.

Эксперимент 2

Соберем схему как в предыдущем опыте, но вместо резистора по очереди включаем в цепь железные проволоки разной длины, но с одинаковой площадью поперечного сечения.

Сопротивление зависит от длины проводника.

Эксперимент 3

Та же схема, что и в предыдущих опытах. В качестве резистора по очереди включаем в цепь два куска железной проволоки равной длины, но с разной площадью поперечного сечения.

Сопротивление зависит от площади поперечного сечения проводника:

$$R = \rho \frac{l}{S}.$$

V. Подведение итогов урока

Урок 6. Решение задач по теме: «Закон Ома для участка цепи»

Цели: научить применять на практике теоретические знания.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Решение задач

1. При протекании постоянного тока силой 3,2 мА через поперечное сечение проводника прошло $18 \cdot 10^{18}$ электронов. Определить в минутах протекание тока.

(*Ответ:* 15 мин.)

2. Общее сопротивление двух последовательно соединенных проводников 5 Ом, а параллельно соединенных 1,2 Ом. Определить сопротивление каждого проводника.

(*Ответ:* R_1 = 2 Ом, R_2 = 3 Ом.)

3. Проволока имеет сопротивление 20 Ом. Когда ее разрезали на несколько частей и соединили эти части параллельно, то получилось сопротивление 1 Ом. На сколько частей разрезали проволоку?

(*Ответ:* n = 5.)

4. Два сопротивления R_1 = 8 Ом и R_2 = 24 Ом включены параллельно. Сила тока, текущего через сопротивление R_2 равна 25 мА. Найдите силу тока, текущего через сопротивление R_1.

(*Ответ:* 75 мА.)

5. К источнику тока с напряжением 200 В подключили три сопротивления R_1 = 60 Ом, R_2 = 30 Ом – параллельно друг другу и R_3 = 36 Ом последовательно с ними. Определить напряжение на R_1.

6. Амперметр, включенный последовательно с сопротивлением 10 Ом, показывает ток 0,4 А. Подключенный к тому же сопротивлению вольтметр показывает 3 В. Определить внутреннее сопротивление вольтметра.

(*Ответ:* R = 30 Ом.)

7. Найдите распределение сил токов и напряжений в схеме, изображенной на схеме, если U_{AB} = 100 В, R_1 = 3 Ом, R_2 = 2 Ом, R_3 = 7,55 Ом, R_4 = 2 Ом, R_5 = 5 Ом, R_6 = 19 Ом.

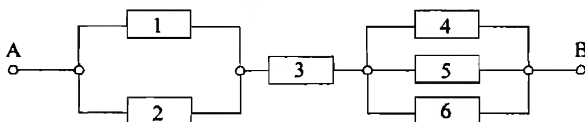


Рис. 110

(*Ответ:* 3 А; 12 В; 6 А; 12 В; 10 В; 75,5 В; 6,25 А; 12,5 В; 2,5 А; 12,5 А; 25 А; 12 В.)

8. Три резистора R_1 = 20 Ом, R_2 = 20 Ом, R_3 = 5 Ом подключены к источнику постоянного напряжения. Напряжение на резисторе R_2 равно 10 В. Определите силу тока, который будет протекать через резистор R_3 после того, как R_2 и R_3 поменять местами.

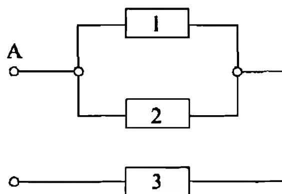


Рис. 111

(*Ответ:* 0,5 А.)

9. Миллиамперметр с пределом измерения токов 25 мА необходимо использовать как амперметр с пределом измерения 5 А. Какое сопротивление должен иметь шунт? Сопротивление миллиамперметра 10 Ом.

(*Ответ:* $R_ш$ = 50,2 Ом.)

10. Предел измерения вольтметра 100 мВ. Добавочное сопротивление 4 кОм, подключенное к вольтметру, увеличивает предел его

измерения до 400 мВ. Какое добавочное сопротивление необходимо подключить к вольтметру, чтобы предел измерения составил 1,6 В.

(*Ответ:* $R_д = 20$ кОм.)

Урок 7. Строение силы. ЭДС. Закон Ома для полной цепи

Цель: сформулировать закон Ома для полной цепи.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Проведение самостоятельной работы

1. Каково сопротивление 1 м провода из константана диаметром 0,8 мм. (*Ответ:* 1 Ом.)

2. Известно, что сопротивление спирали лампочки карманного фонарика составляет 15 Ом. Какой длины вольфрамовый провод взят для изготовления спирали, если ее диаметр равен 0,1 мм? (*Ответ:* 2,14 м.)

3. При намотке катушки из медного провода ее масса возросла на 17,8 г, а сопротивление оказалось равным 34 Ом. Оцените по этим данным длину и площадь поперечного сечения провода. (*Ответ:* 20 м; $\approx 10^{-8}$ м^2.)

III. Изучение нового материала

Для того чтобы ток не прекращался, необходимо, чтобы положительные заряды, перемещающиеся на тело В с тела А, вновь возвращались на тело А, а отрицательные – возвращались на тело В. На некотором участке замкнутой цепи заряды двигались против действующих на них электростатических сил. Для этого на заряды должны действовать другие силы, направленные в противоположную электростатическим силам сторону. Такие силы неэлектростатического происхождения называются сторонними силами. В источнике тока на электрические заряды действуют сторонние силы. Сторонние силы в различных источниках возникают по разным причинам. Во время работы источника непрерывно перемещаются положительные заряды между электродами от отрицательного полюса к положительному. Чем больше заряд перемещается, тем большая работа $A_{ст}$ совершается.

Отношение работы сторонних сил к значению положительного заряда, переносимого внутри источника, называют электродвижущей силой источника (ЭДС).

$$\varepsilon = \frac{A_{cm}}{q},\ \varepsilon - [B].$$

Участки электрической цепи, на которых электрический ток создается только электрическим полем, называют однородными.

Закон Ома:

$$\frac{U}{R} = I.$$

Участок цепи, на котором действуют сторонние силы, называют неоднородным.

Закон Ома для полной цепи:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r},$$

где r – внутреннее сопротивление источника тока [Ом]; R – внешнее сопротивление цепи [Ом].

ЭДС источника можно измерить, если источник замкнуть на вольтметр R_B, сопротивление которого значительно больше внутреннего сопротивления, тогда внутренним сопротивлением можно пренебречь.

Если к полюсам источника присоединен проводник, сопротивление которого мало по сравнению с внутренним сопротивлением источника, этот случай называют коротким замыканием: $R = 0$.

$$I_{кз} = \frac{\varepsilon}{r}.$$

Ток короткого замыкания может достигать порядка 20–200 А, а иногда и 1000 А. В этом случае может произойти перегрев проводов, пожар здания, чтобы избежать этого в цепь включают предохранители.

IV. Закрепление материала

– Каково назначение источника тока?
– Что такое сторонние силы?
– Что такое ЭДС?
– Как формулируется закон Ома для участка цепи?
– Как формулируется закон Ома для полной цепи?
– Что такое короткое замыкание?

V. Решение задач

1. Батарейка для карманного фонаря замкнута на реостат. При сопротивлении реостата 8,65 Ом напряжение на нем 3,3 В, а при сопротивлении 3,5 Ом – напряжение 3,5 В. Найдите внутреннее сопротивление и ЭДС батарейки. (*Ответ:* $r = 0,2$ Ом, $\varepsilon = 3,7$ В).

2. Источником тока в цепи служит батарейка с ЭДС = 30 В. На-

пряжение на зажимах батареи 18 В, а сила тока в цепи 3 А. Определите внешнее сопротивление и внутреннее сопротивление цепи. (*Ответ:* R = 6 О м, r = 4 Ом).

3. К полюсам источника тока с ЭДС 8 В присоединили проводник сопротивлением 30 Ом. При этом напряжение между концами проводника стало 6 В. Чему равно внутреннее сопротивление источника? (*Ответ:* 10 Ом).

Домашнее задание

п. 3, 4.

Урок 8. Решение задач

Цель: научить учащихся применять теоретические знания при решении задач.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение

- Из чего складывается полное сопротивление цепи?
- Что такое стороннее поле?
- Какую величину называют электродвижущей силой?
- Где создаются сторонние поля?
- Сформулируйте закон Ома для участка цепи.
- Сформулируйте закон Ома для полной цепи.
- Чему равна сила тока при коротком замыкании?
- Сформулируйте законы параллельного и последовательного соединения.

III. Решение задач

Задачи на «3» балла

1. Определите силу тока и падение напряжения на проводнике R_1, если $R_1 = 2$ Ом, $R_2 = 4$ Ом, $R_3 = 6$ Ом. ЭДС = 4 В, r = 0,6 Ом.

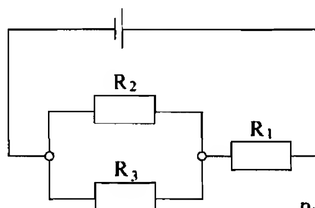


Рис. 112

(*Ответ:* I = 0,8 А, U = 1,6 В.)

2. Чему равно общее сопротивление электрической цепи?

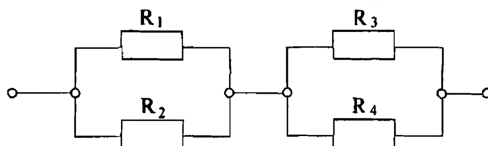


Рис. 113

$R_1 = R_2 = 15$ Ом; $R_3 = R_4 = 25$.

(*Ответ:* $R = 20$ Ом.)

3. Определите силу тока в проводнике R_2, если $R_2 = 9$ Ом, $R_1 = 6$ Ом, если ЭДС = 2 В, $r = 0{,}4$ В.

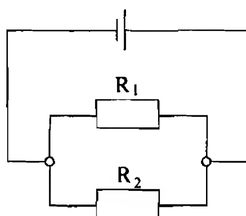


Рис. 114

(*Ответ:* $I = 0{,}2$ А.)

4. Найти общее сопротивление, если $R_1 = 8$ Ом, $R_2 = 2$ Ом, $R_3 = 4$ Ом, $R_4 = 6$ Ом.

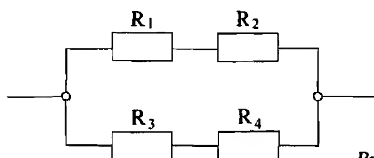


Рис. 115

(*Ответ:* 5 Ом.)

Задачи на «4» балла

1. Какова сила тока в проводнике R_3, если ЭДС = 3 В, его внутреннее сопротивление 1 Ом. $R_1 = R_2 = 1{,}75$ Ом, $R_3 = 2$ Ом, $R_4 = 6$ Ом.

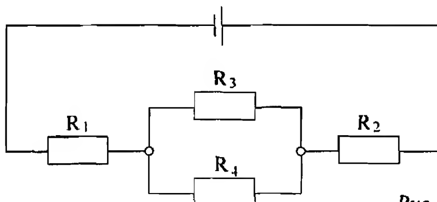


Рис. 116

(*Ответ:* 0,13 А.)

2. Найти общее сопротивление.

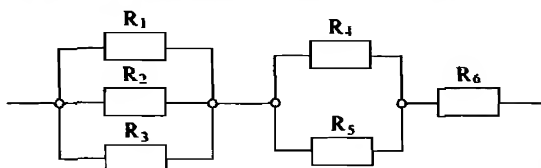


Рис. 117

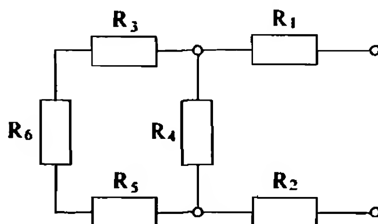
R_1 = 15 Ом, R_2 = 15 Ом, R_3 = 15 Ом, R_4 = 8 Ом, R_5 = 8 Ом, R_6 = 12 Ом.

(*Ответ:* 21 Ом.)

3. Определить ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока, если при внешнем сопротивлении 3,9 Ом сила тока в цепи 0,5 А, а при внешнем сопротивлении 1,9 Ом сила тока 1 А.

(*Ответ:* 0,1 Ом, 2 В.)

4. Найти общее сопротивление, если $R_1 = 4$ Ом, $R_2 = 5$ Ом, $R_3 = 4$ Ом, $R_4 = 20$ Ом, $R_5 = 12$ Ом, $R_6 = 4$ Ом.



(*Ответ:* 19 Ом.)

Рис. 118

Задачи на «5» баллов

1. Найти силу тока во всех резисторах, а также ЭДС источника тока с малым внутренним сопротивлением, если R_1 = 7,5 Ом, R_2 = 4 Ом, R_3 = 12 Ом, R_4 = 6 Ом, R_5 = 3 Ом, R_6 = 6 Ом, а показания амперметра 10 А.

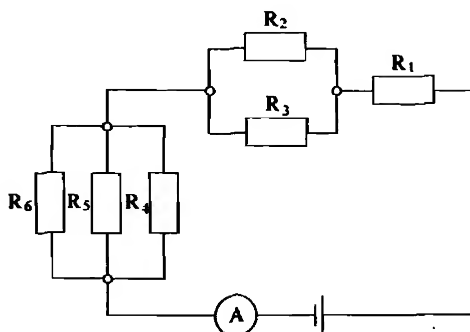


Рис. 119

(*Ответ:* 5 А; 15 В; 1,9 А; 2,5 А; 0,6 А; 2,5 А; 7,5 В; 7,5 В; 15 В.)

2. Найти общее сопротивление:

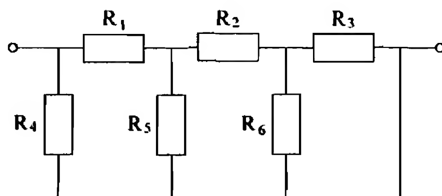


Рис. 120

$R_1 = 0{,}5$ Ом, $R_2 = 1{,}5$ Ом, $R_3 = R_4 = R_6 = 1$ Ом. $R_5 = \frac{2}{3}$ Ом.

(*Ответ:* 1 Ом.)

3. ЭДС = 20 В, r = 1 Ом, $R_1 = 4$ Ом, $R_2 = 3$ Ом, $R_3 = 12$ Ом, $R_4 = 6$ Ом. Найти показания вольтметра и амперметра. Рассчитайте силу тока и падение напряжения на каждом из проводников.

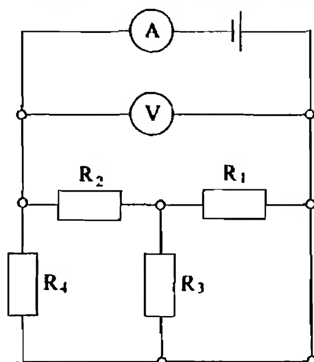


Рис. 121

(*Ответ:* 5 А; 15 В; 1,9 А; 2,5 А; 0,6 А; 2,5 А; 7,5 В; 15 В.)

4. Найти общее сопротивление. Сопротивление каждого 1 Ом.

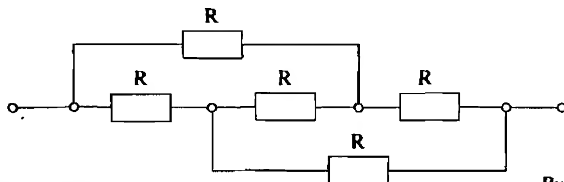


Рис. 122

(*Ответ:* 1 Ом.)

Домашнее задание

Р – 340; Р – 345.

Урок 9. Закон Джоуля–Ленца

Цель: вывести закон Джоуля-Ленца, исходя из классической электромагнитной теории.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторенне

- Что такое электрический ток?
- Какой вывод сделан из результатов опыта Рикке?
- Опишите опыт Мандельштама и Папалекси?
- Запишите уравнение движения электронов в проводнике с током?
- Что такое концентрация частиц?
- Что такое сила тока?
- Выведите формулу скорости направленного движения электронов.
- Какой ток называется постоянным?
- Что можно сказать об электрическом поле постоянного тока?

III. Проведение самостоятельной работы

Вариант I

1. Какими носителями электрического заряда создается электрический ток: а) в металлах; б) в газах?

А. а – только электронами; б – положительными и отрицательными ионами.

Б. а – только электронами; б – положительными и отрицательными ионами и электронами.

В. а – электронами и положительными ионами; б – только электронами.

2. Какое минимальное количество электричества может быть перенесено электрическим током через газ, раствор электролита и через металл?

А. Может быть перенесено любое минимальное.

Б. Через газ любое, через раствор электролитов и металл – $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

В. Возможен перенос $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

3. Если создать хороший контакт между медной и алюминиевой пластинами и пропускать ток в течение года, изменится ли масса брусков?

А. m_{Al} увеличится.

Б. m_{Cu} уменьшится.

В. Масса брусков не изменится.

4. Электроны в металлах ведут себя как молекулы газа. Как изменится ток в проводнике, к которому приложено напряжение, если увеличить температуру проводника?

А. Увеличится.

Б. Уменьшится.

В. Не изменится.

5. Как известно, электроны в металлах участвуют в двух движениях: тепловом и упорядоченном. Скорость какого движения больше?

А. Теплового.

Б. Упорядоченного.

В. Почти равны.

6. Электрическая проводимость водных растворов электролита обусловлена:

А. Положительными ионами.

Б. Отрицательными и положительными ионами и электронами.

В. Положительными и отрицательными ионами.

(*Ответы:* 1. Б. 2. В. 3. В. 4. Б. 5. А. 6. В.)

Вариант II

1. Какими носителями электрического заряда создается электрический ток в растворе электролитов, в газах?

А. В растворах электролитов – положительными и отрицательными ионами, в газах – электронами.

Б. В растворах электролитов и газах – положительными и отрицательными ионами.

В. В растворах электролитов – положительными и отрицательными ионами, в газах – положительными и отрицательными ионами и электронами.

2. Какое минимальное количество электричества может быть перенесено электрическим током через полупроводник и вакуум?

А. Через полупроводник сколько угодно малое, через вакуум – $1{,}6\cdot 10^{-19}$ Кл.

Б. Через вакуум сколь угодно малое, а через полупроводник – $1{,}6\cdot 10^{-19}$ Кл.

В. Возможен перенос $1{,}6\cdot 10^{-19}$ Кл.

3. Опыты Мандельштама-Папалекси, Стюарта-Толмена, Рикки подтвердили, что проводимость в металлах:

А. Электронная.

Б. Ионная.

В. Электронно-ионная.

4. При увеличении температуры проводимость газа:

А. Увеличивается.

Б. Уменьшается.

В. Не изменяется.

5. Если у проводника температуру одного конца поддерживать выше температуры другого, то какой будет разность потенциалов $U_г - U_х$ – ?

А. Равна нулю.

Б. $U_г - U_х < 0$.

В. $U_г - U_х > 0$.

6. Электрическая проводимость металлов обусловлена:

А. Положительными ионами.

Б. Свободными электронами.

В. Отрицательными ионами.

(*Ответы:* 1. В. 2. В. 3. Б. 4. А. 5. В. 6. Б.)

IV. Изучение нового материала

Проводник, по которому течет ток, нагревается. Нагревание объясняется сталкиванием электронов проводимости со встречными частицами:

$$F_c = \frac{m}{\tau} \cdot \tau .$$

Пусть за это время прошло N электронов. Подсчитаем работу, совершенную силами сопротивления при перемещении электронов на расстоянии l за время t.

$$Q = |A_{con}| = NF_c l = NF_c \upsilon \cdot t = N\frac{m\upsilon^2}{\tau} \cdot t ;$$

$$\upsilon = \frac{Il}{Nl} \Rightarrow Q = I^2\left(\frac{ml^2}{N\tau l^2}\right)t ;$$

$$N = nN = nSl ;$$

$$Q = \left(\frac{ml^2}{l^2 n\tau S}\right)t \cdot I^2 ;$$

$$R = \frac{m}{l^2 n\tau} \cdot \frac{l}{S} \Rightarrow Q = I^2 Rt .$$

V. Решение задач

С. 344, 323–326.

VI. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 14.

Задача № 327.

Урок 10. Решение задач по теме: «Закон Джоуля-Ленца»

Цель: научить применять на практике теоретические знания.

Ход урока

I. Решение задач

1. Найти время, в течение которого по проводнику шел постоянный ток, если для переноса заряда в 10 Кл через проводник с сопротивлением 1 Ом потребовалось совершать работу 10 Дж. (*Ответ:* t = 10 с).

2. Два проводника сопротивлением 10 Ом и 14 Ом соединены параллельно и подключены к источнику тока. За некоторое время в первом проводнике выделилось 840 Дж теплоты. Какое количество теплоты выделилось за то же время во втором проводнике? (*Ответ:* 600 Дж).

3. Два сопротивления при последовательном включении в сеть с напряжением 100 В потребляют из сети мощность 40 Вт. При параллельном включении в ту же сеть они потребляют суммарную мощность 250 Вт. Найти величины этих сопротивлений. (*Ответ:* R_1 = 50 Ом, R_2 = 50 Ом).

4. При ремонте плитки ее спираль укоротили на 0,1 первоначальной длины. Найти отношение начальной мощности плитки к конечной при включении ее в ту же электрическую сеть.

5. Две одинаковые лампочки мощностью 100 Вт каждая, рассчитанные на напряжение 120 В, соединены параллельно. Какое сопротивление надо подключить последовательно с лампочками, чтобы они горели в нормальном режиме при включении в сеть напряжением 220 В. (*Ответ:* R = 60 Ом).

6. Если два сопротивления соединить параллельно и включить в сеть с некоторым напряжением, то на одном из них выделится мощность 100 Вт, а на другом 400 Вт. Какая мощность выделится на каждом из этих сопротивлений, если их последовательное соединение включить в ту же самую сеть.

7. Определить мощность, потребляемую электрическим чайником, если в нем за 40 минут нагревается 3 л воды от 20 °С до 100 °С при КПД = 60 %. (*Ответ:* 700 Вт).

8. Электрокамин имеет две обмотки. При включении одной из них температура воздуха в комнате повышается на 1 °С за 10 мин., при включении другой через 6 мин. На сколько минут надо включить камин, чтобы повысить температуру на 1 °С при параллельном соединении этих обмоток?

9. Электродвигатель трамвая работает при силе тока 108 А и напряжении 500 В. Какова скорость трамвая, если двигатель создает силу тяги 3,6 кН, а КПД = 70 %? (*Ответ:* $\upsilon = 10$ м/с.)

10. Конденсатор емкостью 10 мкФ заряжается постоянным током через сопротивление R – 1 МОм. Через какое время после начала зарядки энергия, запасенная в конденсаторе, станет равной энергии выделившейся при сопротивлении? (*Ответ:* t = 20 с.)

Домашнее задание

п. 15.

Урок 11. Лабораторная работа по теме: «Определение электрического сопротивления»

***Оборудование*:** Проволочные радиаторы (3 шт.), источник постоянного напряжения, амперметр, вольтметр, ключ, специальные провода.

Ход урока

1. Соберите электрическую цепь (рис. 123). Измерьте силу тока в цепи, напряжение на различных участках.

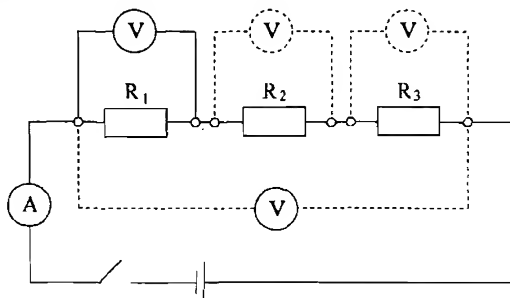


Рис. 123

Заполните таблицу:

I	U_1	U_2	U_3	U	$R_1 = \frac{U_1}{I}$	$R_2 = \frac{U_2}{I}$	$R_3 = \frac{U_3}{I}$	$R = \frac{U}{I}$

Сравнив сумму сопротивлений отдельных резисторов ($R_1 + R_2 + R_3$) с общим сопротивлением R, сделайте вывод.

2. Соберите электрическую цепь (рис. 124):

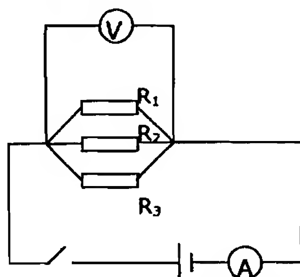


Рис. 124

Измерив силу тока и напряжение, найдите общее сопротивление R. Используя найденные в предыдущем задании сопротивления, заполните таблицу.

$\frac{1}{R}$	$\frac{1}{R_1}$	$\frac{1}{R_2}$	$\frac{1}{R_3}$

3. Определите экспериментальным путем общее сопротивление цепи и сравните его с теоретически найденным.

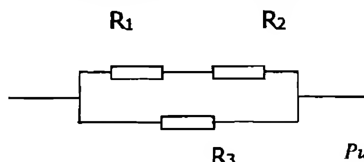


Рис. 125

Домашнее задание

Р – 331; Р – 332.

Урок 12. Решение задач

Цель: научить учащихся применять теоретические знания при решении задач.

Ход урока

I, Организационный момент

II. Вопросы для повторения

– Напишите формулу сопротивления однородного проводника постоянного сечения?
– Чему равна сила тока при коротком замыкании?
– Сформулируйте закон Ома для участка цепи.
– Запишите закон Ома для замкнутой цепи.

- Сформулируйте законы параллельного соединения проводников.
- Запишите законы последовательного соединения проводников.
- Чему равна мощность тока в замкнутой цепи?
- Как находится полезная мощность?
- По какой формуле можно найти потери мощности в источнике?
- Чему равен КПД источника тока?
- При каком сопротивлении нагрузки полезная мощность максимальна?

III. Проведение самостоятельной работы

1. Рассчитайте силу тока в цепи источника с ЭДС равным 9 В и внутренним сопротивлением 1 Ом при подключении во внешнюю цепь резистора с сопротивлением в 3,5 Ом. (*Ответ:* 2 А.)

2. К источнику тока с внутренним сопротивлением 1 Ом подключили последовательно амперметр и резистор с сопротивлением 2 Ом. При этом амперметр показал 1 А. Что покажет амперметр, если использовать резистор сопротивлением 3 Ом? (*Ответ:* 0,75.)

3. В цепи вольтметр показывает 3 В, а амперметр 0,5 А. При силе тока 1 А вольтметр показывает 2,5 В. Каковы ЭДС и внутреннее сопротивление источника? (*Ответ:* 3,5 В; 1 Ом.)

IV. Решение задач

Задачи на «3» балла

1. Сопротивление платиновой проволоки при температуре 20 °С равно 20 Ом, а при температуре 500 °С принимает значение 59 Ом. Найдите значение температурного коэффициента сопротивления платины. (*Ответ:* 0,0041 1/°С.)

2. Какую работу совершает двигатель полотера за время, равное 30 мин, если он потребляет в цепи напряжением 220 В ток силой 1,25 А, а его КПД = 80 %. (*Ответ:* 396 кДж.)

3. Чему равно напряжение на концах проводника, имеющего сопротивление 20 Ом, если за время, равное 10 мин, через него протекает электрический заряд 200 Кл. (*Ответ:* 6,7 В.)

4. Количество теплоты, выделяемое за 54 мин проводником с током, равно 20 кДж. Определите силу тока в проводнике, если его сопротивление равно 10 Ом. (*Ответ:* 2, 6 А.)

Задачи на «4» балла

1. ЭДС источника тока равна 1,6 В, его внутреннее сопротивление равно 0,5 Ом. Чему равен КПД источника при силе тока 2,4 А? (*Ответ:* 25 %.)

2. Лифт массой 2 т поднимается равномерно на высоту 20 м за 1 минуту. Напряжение на зажимах электродвигателя равно220 В, его

КПД равен 92 %. Определите силу тока в цепи электродвигателя. (*Ответ:* 32 А.)

3. Подъемный кран поднимает груз массой 8,8 т на высоту 10 м в течение 50 с. Определите напряжение в цепи, если сила тока, потребляемая краном, равна 100 А, КПД = 80 %. (*Ответ:* 220 В.)

4. Вольтметр, рассчитанный на измерение напряжения до 30 В, имеет внутреннее сопротивление 3 кОм. Какое дополнительное сопротивление нужно присоединить к вольтметру, чтобы им можно было измерять напряжение до 300 В? (*Ответ:* 27 кОм.)

Задачи на «5» баллов

1. Электровоз массой 300 т спускается вниз с горы со скоростью 72 км/ч. Уклон горы равен 0,01. Коэффициент сопротивления движению равен 0,02, напряжение в линии равно 3 кВ, КПД = 80 %. Определить сопротивление обмотки электродвигателя электровоза. (*Ответ:* 2,4 Ом.)

2. Источник питает внешнюю цепь. При силе тока 2 А во внешней цепи выделяется мощность 30 Вт. *Определите силу тока при* коротком замыкании источника тока. (*Ответ:* 8 А.)

3. Обмотка электродвигателя постоянного тока сделана из провода, сопротивлением 2 Ом. По обмотке течет ток. Какую мощность потребляет двигатель, если известно, что напряжение в сети равно 110 В, сила тока равна 10 А? Каков КПД двигателя? (*Ответ:* 80 %; 1,1 кВт.)

4. ЭДС источника 16 В, его внутреннее сопротивление 3 Ом. Найти сопротивление цепи, если известно, что мощность тока в ней 16 Вт. Определите КПД источника тока. (*Ответ:* 1 Ом и 9 Ом; 25 % и 75 %.)

V. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 11; 9.

Р – 354; Р – 357.

Урок 13. Лабораторная работа по теме «Определение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока»

Оборудование: источник тока, реостат, амперметр, вольтметр, ключ, соединительные провода.

Ход урока

1. Решите задачу.

Один и тот же источник тока сначала подключают к одному резистору, а затем к другому: в первом случае напряжение на полюсах источника равно U_1, а сила тока в цепи I_1, во втором случае соответственно U_2 и I_2. Чему равны ЭДС и сопротивление источника.

2. Соберите цепь (рис. 126).

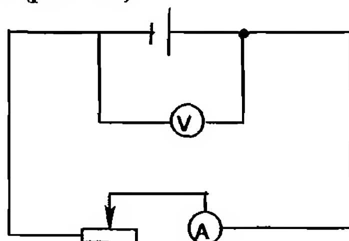


Рис. 126

3. При двух разных положениях ползунка реостата измерьте значения величин, необходимых для определения ЭДС и внутреннего сопротивления источника.

4. Заполните таблицу.

I_1	U_1	I_2	U_2

5. Воспользовавшись формулами, полученными в начале работы, вычислите ЭДС и внутреннее сопротивление источника.

6. Отключите цепь от источника и с помощью вольтметра измерьте его ЭДС. Измеренное значение сравните с найденными в предыдущем задании.

Домашнее задание

Р – 367, Р – 370.

п. 8, 9.

Урок 14. Контрольная работа

Цель: проверка знаний и умений учащихся.

Ход урока

Вариант I

1. Определить силу тока в проводнике R_3 и напряжение на концах проводника R_3, если ЭДС источника 2,1 В, его внутреннее сопротив-

ление 1,2 Ом, R_1 = 7 Ом, R_2 = 5 Ом, R_3 = 4 Ом. (*Ответ:* 0,375 А, 1,5 В.)

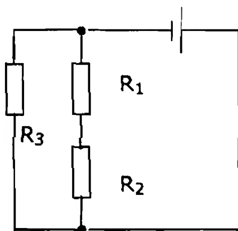


Рис. 127

2. Определить мощность электрического чайника, если в нем за 20 мин нагревается 1,44 кг воды от 20 °С до 100 °С КПД = 60 %. Удельная теплоемкость воды 4299 Дж/кг·К. (*Ответ:* 672 Вт.)

3. Определить показания всех приборов, если движок реостата находится на середине. ЭДС источника 9,5 В, внутреннее сопротивление 1,5 Ом, R_1 = 40 Ом, R_2 = 60 Ом, R_3 = 120 Ом, сопротивление реостата 52 Ом. Как изменятся показания всех приборов при движении ползунка реостата снизу вверх? (*Ответ:* 0,2 А; 5,2 В; 4 В.)

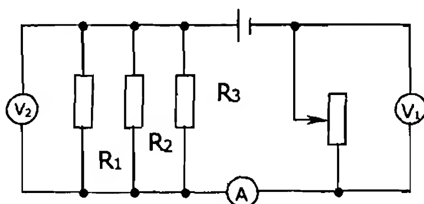


Рис. 128

4. За какое время 3 дм^3 воды нагреют от 20 °С до кипения электрокипятильником, если напряжение в сети 220 В, сопротивление нагревателя кипятильника 55 Ом? КПД кипятильника 60%. (*Ответ*: 32 мин.)

5. В электропаяльнике при напряжении 220 В возникает ток силой 0,2 А. Какое количество олова, взятого при 22 °С, можно расплавить за 2 мин, если КПД паяльника 90 %. Удельная теплоемкость олова 230 Дж/кг·К, удельная теплота плавления 59000 Дж/кг, температура плавления олова 232 °С. (*Ответ:* 44 г.)

6. Какой ток течет через амперметр с пренебрежимо малым внутренним сопротивлением?

R_1 = 15 Ом, R_2 = 10 Ом, R_3 = 10 Ом, R_4 = 10 Ом, ЭДС = 7,8 В.

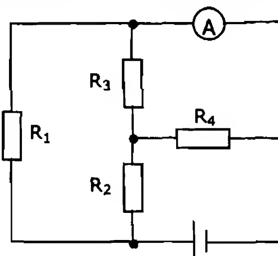


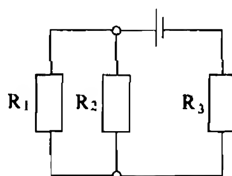
Рис. 129

(*Ответ:* 0,26 А.)

7*. Трамвайный вагон массой 20 т движется равномерно по горизонтальному участку пути со скоростью 54 км/ч. После отключения электродвигателя вагон идет равнозамедленно и проходит до остановки 450 м. Какую энергетическую мощность потреблял электродвигатель до его отключения? КПД двигателя 75 %. (*Ответ:* 100 кВт.)

Вариант II

1. Определить силу тока в проводнике R_2 и напряжение на концах проводника R_2, если ЭДС источника 9 В, а его внутреннее сопротивление 1,8 Ом.



$R_1 = 3$ Ом, $R_2 = 2$ Ом, $R_3 = 10$ Ом.

Рис. 130

(*Ответ:* 135 А, 2,7 В.)

2. Электрокипятильник мощностью 1 кВт, работающий от сети с напряжением 220 В, за 12 мин нагревает 1,5 л воды на 88 °С. Чему равен КПД нагревателя. Удельная теплоемкость воды 4200 Дж/кг·К.

3. Определить показания всех приборов, если движок реостата находится в крайнем правом положении. Как изменяются показания приборов, если движок реостата перемещать влево?

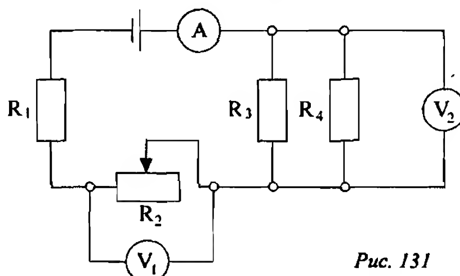


Рис. 131

ЭДС = 12,4 В, r = 0,2 Ом, R_1 = 2,9 Ом, R_2 = 1,6 Ом, R_3 = 6 Ом, R_4 = 2 Ом.

4. Электродвигатель трамвайных вагонов работает при токе 112 А и напряжении 550 В. С какой скоростью движется трамвай, если двигатели создают силу тяги 3,6 кН, а КПД их равно 70%? (*Ответ:* 12 м/с.)

5. Сколько льда, взятого при –10 °С, можно растопить за 10 мин на электроплитке, работающей от сети напряжением 220 В при токе 3 А, если КПД установки 80 %. Удельная теплоемкость льда 2100 Дж/кг·К. Удельная теплота плавления 340 кДж/кг. (*Ответ:* 0,88 кг.)

6. Найти распределение токов и напряжений в проводниках.

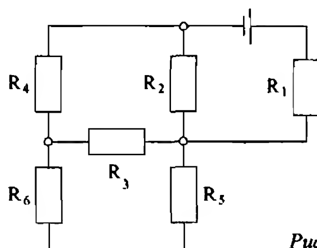


Рис. 132

r = 1 Ом, R_1 = 3 Ом, R_2 = 4 Ом, R_3 = 4 Ом, R_4 = 2 Ом, R_5 = 3 Ом, R_5 = 1 Ом.

(*Ответ:* 2 А; 1 А; 0,5 А; 1 А; 0,5 А№ 0,5 А; 6 В; 4 В; 2 В; 1,5 В; 0,5 В.)

7*. Электрический чайник имеет в нагревателе две секции. При включении первой секции вода в чайнике закипает за 10 мин, а при включении второй секции за 40 мин. Через сколько времени закипит вода, если включить обе секции параллельно или последовательно. Условия нагревания одинаковы. (*Ответ:* 8 мин; 50 мин.)

Урок 15. Электрический ток в электролитах

Цель: выяснить, какие частицы являются носителями тока в электролитах.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение

– Какие частицы являются носителями тока в газах?
– Как они получаются?
– Чем отличается самостоятельный разряд от несамостоятельного?

- За счет каких факторов поддерживается самостоятельный разряд?
- Какие виды самостоятельного разряда вы знаете?
- Что такое плазма?
- Приведите примеры вещества, находящегося в состоянии плазмы.

III. Проведение самостоятельной работы

1. Под действием ионизатора газ стал проводником, заряженный электроскоп, стоящий рядом, начинает быстро разряжаться. Почему после удаления ионизатора разряд прекращается?

А. Ионизатор разрядил электроскоп.

Б. В результате рекомбинации заряженные частицы быстро исчезают, превращаясь в нейтральные атомы, газ стал непроводником.

В. В газе будут только одноименные заряды.

2. Почему для уменьшения потерь электроэнергии на коронный разряд в линиях электропередач высокого напряжения применяют провода возможно большего диаметра?

А. Напряженность поля вблизи поверхности проводника увеличивается.

Б. Напряженность поля вблизи поверхности проводника не меняется.

В. Напряженность поля вблизи поверхности проводника уменьшается.

3. Какой вид разряда имеет место в лампах дневного света? Назовите носители зарядов при этом разряде.

А. Тлеющий: электроны, ионы газа и паров ртути.

Б. Коронный: электроны, ионы газа.

В. Искровой: электроны, ионы газа.

4. Как зависит проводимость газов от давления?

А. Не зависит.

Б. Чем больше давление, тем больше проводимость.

В. Чем больше давление, тем меньше проводимость.

5. Какие физические явления используются на ионизации газа:

1) Увеличение температуры.
2) Рентгеновские лучи.
3) Уменьшение давления.
4) Радиоактивность.
5) Ультрафиолетовое излучение?

А. 1, 2, 3, 5.

Б. 1, 2, 4, 5.

В. 1, 2, 3.

6. Сила тока насыщения в газе зависит:

1) От приложенного напряжения.

2) Действия ионизатора.

3) Объема между электродами.

А. 1.

Б. 1, 2.

В. 2, 3.

7. Плоский конденсатор, значение напряжения на котором близко к пробойному, отсоединили от источника тока. Наступит ли пробой, если пластины начать сближать?

А. Наступит.

Б. Не наступит.

В. Наступит, если пластины сближать с большой скоростью.

8. Коронный разряд поддерживается за счет … …

А. Ионизирующего излучения.

Б. Термоэлектронной эмиссии.

В. Высокой температуры газа.

Г. Высокой напряженности электрического поля.

9. Может ли возникнуть ток насыщения при самостоятельной проводимости газа?

А. Нет.

Б. Да.

(*Ответы:* 1. Б. 2. В. 3. А. 4. В. 5. Б. 6. В. 7. Б. 8. Г. 9. А.)

IV. Изучение нового материала

Эксперимент

К источнику тока соединили последовательно лампу и электролитическую ванну с дистиллированной водой, в которую опущены электроды. Замкнули цепь. Лампа не горит. Добавили в воду какую-нибудь соль (медный купорос). Лампа загорается.

Рассмотрев угольные электроды обнаружили характерный красный цвет (медь). При протекании тока через растворы электролитов вместе с зарядом всегда переносится вещество (электролиз). Носителями тока в этих проводниках являются ионы. В растворах электролитов всегда содержится некоторое число ионов. Если тока нет, они движутся беспорядочно. Но в электрическом поле положительные ионы движутся к катоду, отрицательные – к аноду.

Для растворов электролитов справедлив закон Ома.

При электролизе происходит выделение вещества:

$$m = m_{0i} \cdot N_i;$$

$$m_{0i} = \frac{\mu}{N_A};$$

$$N_i = \frac{\Delta q}{q_{0i}} = \frac{I \cdot \Delta t}{q_{0i}};$$

где μ – молярная масса; n – валентность; N_i – число ионов, достигших электрода; m_{0i} – заряд одного иона.

$$q_{0i} = n \cdot e;$$

$$m = \frac{\mu}{neN_A} I\Delta t, \text{ но } \frac{\mu}{neN_A} = const = k.$$

где k – электрохимический эквивалент, зависящий от вещества.

$$m = kI\Delta t.$$

$$m = \frac{\mu}{n} \cdot \frac{1}{eN_A} \cdot I\Delta t.$$

$e \cdot N_A = F$ – число Фарадея.

$F = 9{,}65 \cdot 10^4$ Кл/моль.

Для выделения 1 моля одновалентного вещества необходимо $9{,}65 \cdot 10^4$ Кл.

Отсюда можно найти заряд электрона:

$$e = \frac{\mu}{mnN_A} I\Delta t.$$

Применение электролиза

1. Гальваностенки (никелирование, серебрение).
3. Гальванопластик (изготовление копий) (Б.С. Якоби, 1838 г.).
4. Электронатирание.
5. Очистка металлов, полученных при выплавке из руды, от прочих примесей.
6. Электротонировка поверхности.

V. Закрепление изученного материала

– Почему чистая вода не проводит электричество?
– Почему вода становится проводником при растворении соли?
– Что называется электрохимическим эквивалентом?
– Как можно определить заряд электротока?

VI. Решение задач

1. При серебрении изделия на катоде за 30 мин. отложилось серебро массой 4,55 г. Определите силу тока при электролизе. (*Ответ:* $I \approx 2{,}26$ А.)

2. Сколько никеля выделится при электролизе за 1 час при силе тока 10 А, если известно, что молярная масса никеля 0,0587 кг/моль, а валентность $n = 2$? (*Ответ:* 11 час.)

3. При электролизе раствора $ZnSO_4$ была затрачена энергия 20 кВт·ч. Определите массу выделившегося цинка, если напряжение на зажимах ванны 4 В. (*Ответ:* 612 г.)

4. Определите массу серебра, выделившегося на катоде при электролизе азотнокислого серебра за время 2 час, если к ванне приложено напряжение 1,2 В, а сопротивление ванны 5 Ом. (*Ответ:* m = 1,9 г.)

5. Определите толщину слоя меди, выделившейся за 5 час при электролизе медного купороса, если плотность тока 0,8 А/дм^2. (*Ответ:* $h = 5{,}3\cdot10^{-5}$ м.)

Домашнее задание

п. 16;

Задачи № 379–382.

Урок 16. Электролиз. Законы Фарадея

Ход урока

I. Организационный момент

II. Проведение самостоятельной работы

1. Найти постоянную Фарадея, если при прохождении через электролитическую ванну заряд q = 7348 Кл на катоде выделилась масса золота m = 5 г. Химический эквивалент золота A = 0,066 кг/моль. (*Ответ:* $9{,}65\cdot10^4$ Нл/моль.)

2. Амперметр, включенный последовательно с электролитической ванной, показывает ток I_0 = 1,5 А. Какую поправку надо внести в показания амперметра, если за время τ = 10 мин на катоде отложилась масса меди m = 0,316 г? Электрохимический эквивалент меди $K = 3{,}3\cdot10^{-7}$ кг/Кл. (*Ответ:* 0,1 А.)

3. Для серебрения ложек через раствор соли серебра в течение времени τ = 5 г пропускали ток I = 1,8 А. Катодом служат n = 12 ложек, каждая из которых имеет площадь поверхности S = 50 см^2. Какой толщины слой серебра отложится на ложках? Молярная масса серебра μ = 0,108 кг/моль, его валентность Z = 1 и плотность ρ = 10500 кг/м^3. (*Ответ:* 58 мкм.)

4. Найти массу выделившейся меди, если для ее получения электрическим способом затрачено W = 5 кВт·ч электроэнергии. Электрод проводится при напряжении U = 10 В. КПД установки 75 %. (*Ответ:* 0,445 кг.)

5. Какой заряд проходит через раствор серной кислоты ($CuSO_4$) за время τ = 10 г, если ток за это время равномерно возрастает от I_l = 0

до I_2 = 4 А. Какая масса меди выделится при этом на катоде? Электрохимический эквивалент меди $K = 3{,}3 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл. (*Ответ:* 6,56 мг.)

6. При рафинировании меди с помощью электролиза к последовательно включенным электролитическим ваннам, имеющим общее сопротивление R = 0,5 Ом, подведено напряжение U = 10 В. Найти массу чистой меди, выделившейся на катодах ванны за время t = 10 ч. ЭДС = 6 В. Электрохимический эквивалент меди $k = 3{,}3 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл. (*Ответ:* 95 г.)

7. При электролизе воды через электролитическую ванну в течение времени τ = 25 мин шел ток I = 20 А. Какова температура выделившегося кислорода, если он находится в объеме V = 1 л под давлением p = 0,2 МПа. Молярная масса воды μ = 0,018 кг/моль. Электрохимический эквивалент кислорода $K = 8{,}29 \cdot 10^{-8}$ кг/Кл. (*Ответ:* 312 К.)

8. При электролитическом способе получения алюминия на единицу массы расходуется W_1 = 50 кВт·ч/кг электроэнергии. Электролиз проводится при напряжении U_1 = 16,2 В. Каким будет расход электроэнергии W_2 на единицу массы при напряжении U_2 = 8,1 В.

МАГНЕТИЗМ

Урок 17. Магнитное поле электрического тока

(см. Урок 1, Мякишев)

Урок 18. Магнитное поле и его характеристика

(см. Урок 3, Мякишев)

Урок 19. Действие магнитного поля на проводник

(см. Урок 3, Мякишев)

Урок 20. Решение задач. Сила Ампера

(см. Урок 4, Мякишев)

Урок 21. Лабораторная работа по теме «Оценка модуля вектора магнитной индукции»

(см. Урок 5, Мякишев)

Урок 22. Действие магнитного поля на движущиеся заряженные частицы

(см. Урок 6, Мякишев)

Урок 23. Масс-спектрограф и циклотрон

(см. Урок 7, Мякишев)

Урок 24. Решение задач. Сила Лоренца

(см. Урок 8, Мякишев)

Урок 25. Магнитное поле вещества

(см. Урок 9, Мякишев)

Урок 26. Контрольная работа по теме «Электромагнитное поле. Электрические заряды»

(см. Урок 10, Мякишев)

ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

Урок 27. Магнитный поток

(см. Урок 15, Мякишев)

Урок 28. Электромагнитная индукция

(см. Урок 12, Мякишев)

Урок 29. Способы индуцирования тока

(см. Урок 11, Мякишев)

Урок 30. Лабораторная работа по теме «Изучение явления электромагнитной индукции»

(см. Урок 13, Мякишев)

Урок 31. Решение задач. Закон электромагнитной индукции

(см. Урок 14, Мякишев)

Урок 32. Опыты Генри

(см. Урок 16, Мякишев)

Урок 33. Решение задач. Явление самоиндукции

(см. Урок 17, Мякишев)

Урок 34. Решение экспериментальных задач

(см. Урок 18, Мякишев)

Урок 35. Решение задач

(см. Урок 19, Мякишев)

Урок 36. Решение качественных задач

(см. Урок 20, Мякишев)

Урок 37. Контрольная работа по теме «Электромагнитная индукция»

(см. Урок 21, Мякишев)

Урок 38. Использование электромагнитной нндукции

(см. Урок 39, Мякишев)

Урок 39. Генерирование переменного тока

(см. Урок 38, Мякишев)

Урок 40. Лабораторная работа по теме «Определение числа витков в обмотках трансформатора»

(см. Урок 40, Мякишев)

Урок 41. Передача электроэнергии на расстоянии

(см. Урок 41, Мякишев)

Урок 42. Решение задач. Переменный электрический ток

(см. Урок 42, Мякишев)

Урок 43. Электрификация России

(см. Урок 43, Мякишев)

Урок 44. Переменный электрический ток

(см. Урок 40, Мякишев)

Урок 45. Сопротивление в цепи переменного тока

(см. Урок 31, Мякишев)

Урок 46. Лабораторная работа по теме «Измерение силы тока в цепи с конденсатором»

(см. Урок 32, Мякишев)

Урок 47. Лабораторная работа по теме «Измерение индуктивного сопротивления катушки»

(см. Урок 33, Мякишев)

Урок 48. Лабораторная работа по теме «Исследование электрических схем с индуктивным, емкостным и активным элементами»

(см. Урок 35, Мякишев)

Урок 49. Решение задач

(см. Урок 36, Мякишев)

Урок 50. Решение экспериментальных задач

(см. Урок 37, Мякишев)

Урок 51. Свободные гармонические электромагнитные колебания в колебательном контуре

(см. Урок 29, Мякишев)

Урок 52. Полупроводники

Цель: познакомить учащихся с полупроводниками.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Анализ контрольной работы

III. Изучение нового материала

Многие вещества в кристаллическом состоянии не являются хорошими проводниками электрического тока, как металлы, но их нельзя отнести и к диэлектрикам, так как они не являются хорошими изоляторами.

Наиболее характерным свойством полупроводников является то, что их удельное сопротивление резко изменяется под влиянием некоторых внешних воздействий.

Эксперимент

Включите германиевый кристалл при комнатной температуре в

цепь, содержащей источник тока и гальванометр. При этом стрелка отклоняется незначительно. Полупроводник обладает большим сопротивлением. При нагревании можно увидеть, что стрелка отклонилась на большой угол.

Из таких полупроводников удельное сопротивление которых резко изменяется со снижением температуры изготавливают термометры (используются для измерения температуры).

Сопротивление может изменяться при изменении освещенности. Из таких полупроводников делают фоторезисторы.

Было установлено, что электрический ток в полупроводниках не сопровождается переносом вещества – никаких химических изменений с ними не происходит.

Отсюда следует, что носителями тока являются электроны.

В полупроводниках валентные электроны сильнее связаны с атомами. Поэтому концентрация электронов проводимости мала. При низких температурах практически все валентные электроны прочно связаны с атомами, но при внешнем воздействии на кристалл электроны приобретают энергию, достаточную для разрыва ковалентных связей.

У того атома, от которого электрон был переведен в свободное состояние, появилось валентное место с недостающим электроном. Его называют «дыркой». «Дырка» ведет себя как положительно заряженная частица. Электрон может занять вакантное место, тогда «дырка» образуется в соседнем атоме. Поэтому «дырка» блуждает по кристаллу.

При создании электрического поля «дырки» двигаются в том направлении, куда бы двигались положительные заряды, а электроны – в противоположную. В полупроводнике электрический ток создается «дырками» и электронами. Такое движение в кристалле без примесей называют собственной проводимостью.

Проводимость, обусловленная наличием примесей в полупроводнике, называется критической проводимостью.

Примеси, поставляющие электроны проводимости без возникновения равного им количества «дырок», называются донорными. В таких кристаллах электроны являются основными носителями тока, но не единственными.

Такие полупроводники получили название ***n-типа***.

Примеси, захватывающие электроны и создающие тем самым подвижные «дырки», не увеличивая при этом число электронов, называют акцепторными.

Такие полупроводники получили название ***p-типа***.

Проводники обладают односторонней проводимостью p–n перехода контакта двух полупроводниковых кристаллов различного типа проводимости.

Для создания такого перехода нужно создать в кристалле с дырочной проводимостью область электрической проводимости (или наоборот). Такую область создают путем введения в процессе выращивания кристалла или атома примеси в готовый кристалл. Через границу разделяющую области кристалла с различными типами проводимости происходит диффузия электронов и «дырок».

Если p–n переход соединить с источником тока так, чтобы с его положительным полюсом была соединена область с электронной проводимостью, то электроны и дырки удаляются внешним полем от запирающего слоя в разные стороны, увеличивая его толщину. Сопротивление p–n перехода велико. Ток мал. Если соединить источник тока так, чтобы положительный полюс был соединен с областью дырочной проводимости, запирающий слой уменьшается. Этот способ называется включением в пропускном или прямом направлении.

Способность пропускать p–n переход тока в одном направлении используются в приборах, которые называются полупроводниковыми диодами. Они используются для преобразования переменного тока в постоянный. Достоинства – малые размеры и масса, длительный срок служб, высокая механическая прочность, высокий КПД. Недостаток – не могут работать ниже –70 °С, при высоких температурах резко ухудшаются рабочие параметры.

IV. Работа с учебником

Откройте учебник на с. 239, прочитайте и запишите информацию о полупроводниковом триоде (транзисторе).

Ответьте на следующие вопросы:

- Как устроен транзистор?
- Как включают транзистор в электрическую цепь?
- На чем основана способность транзистора увеличивать электрический сигнал?

V. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 78–80.

Урок 53. Термоэлектрическая эмиссия и электровакуумные приборы

Цель: сформировать понятие термоэлектронной эмиссии и показать ее практическое применение.

Ход урока

I. Организационный момент

II. Повторение изученного материала

- Какие вещества называют полупроводниками?
- Что такое «дырки»?
- Какие носители тока обеспечивают собственную проводимость полупроводников?
- Какую примесь называют донорной?
- Какую примесь называют акцепторной?
- Что такое электронно-дырочный переход?
- Опишите процесс образования запирающего слоя?
- Что такое полупроводниковый диод?
- Опишите устройство и принцип действия простейшего усилителя.

III. Проведение самостоятельной работы

Вариант I

1. Почему с повышением температуры полупроводников их сопротивление уменьшается?

А. Уменьшается концентрация свободных носителей зарядов.

Б. Увеличивается концентрация свободных носителей зарядов.

В. Увеличивается скорость электронов.

2. Четырехвалентный кремний в качестве примеси вводят трехвалентный индий. Каким будет основной ток в кремнии?

А. Электронный.

Б. Дырочный.

В. Электронно-дырочный.

3. При равных температурах двух различных полупроводников концентрации проводимости электронов различные: $n_1 > n_2$. В каком из этих полупроводников энергия, необходимая для образования свободных электронов, больше?

А. В первом полупроводнике.

Б. Во втором полупроводнике.

В. Энергии равны.

4. В каком полупроводнике проводимость больше: в кристалле кремния или кристалле кремния, где часть атомов заменена атомами индия? (Валентность Si = 4, In = 3).

А. Равна.

Б. Больше Si.

В. Больше в примесном полупроводнике.

5. Чистый полупроводник поместили в электрическое поле (см. рис. 133). При этом в «1» собрались электроны, в половине «2»

дырки. Затем полупроводник разделили точно пополам. Какая часть тяжелее?

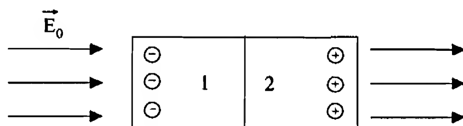


Рис. 133

А. 1.

Б. 2.

В. Одинаковы по весу.

6. Как меняется сопротивление примесных полупроводников при увеличении температуры?

А. Увеличивается.

Б. Уменьшается.

В. Не меняется.

(*Ответ:* 1. Б. 2. Б. 3. Б. 4. В. 5. А. 6. Б.)

Вариант II

1. Будет ли кремний сверхпроводящий, если его охладить до температуры, близкой к абсолютному нулю?

А. Нет.

Б. Да.

В. Да, если охладить в магнитном поле.

2. В четырехвалентный германий в качестве примеси вводят пятивалентный мышьяк. Каким будет основной ток в германии?

А. Электронный.

Б. Дырочный.

В. Электронно-дырочный.

3. Энергии, необходимые для образования электронов проводимости в германии и кремнии, соответственно равны $1{,}12 \cdot 10^{-19}$ Дж и $1{,}76 \cdot 10^{-19}$ Дж. В каком из этих полупроводников при данной температуре концентрация свободных электронов проводимости будет больше?

А. В германии.

Б. В кремнии.

В. Равны.

4. В каком полупроводнике проводимость больше: в кристалле кремния или в кристалле кремния, где часть атомов заменена атомами мышьяка? (Валентность Si = 4, As = 5).

А. Равна.

Б. Больше в Si.

В. Больше там, где произведена замена.

5. Проводник с акцепторной проводимостью поместили в электрическое поле (см. рис. 134). При этом основные носители (дырки) собрались на половине «2». Затем полупроводник разделили точно пополам. Какая часть тяжелее?

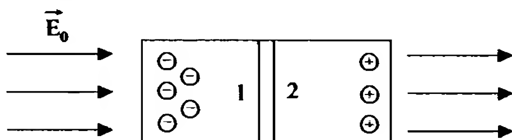


Рис. 134

А. 1.
Б. 2.
В. Одинаковы по весу.

6. Что происходит при слиянии электронов и дырок?
А. Образуется нейтральный атом, энергия не выделяется.
Б. Образуется отрицательный ион, энергия выделяется.
В. Образуется нейтральный атом, энергия выделяется.

(*Ответы:* 1 А; 2. А; 3. А. 4. В;. 5. А; 6. В.)

IV. Изучение нового материала

Если два электрода поместить в герметичный сосуд и удалить из сосуда воздух, то ток в вакууме не возникнет. В вакууме нет заряженных частиц. Они есть в электродах, но они не могут выйти в вакуум, так как их удерживают силы кулоновского притяжения друг к другу. Для освобождения электрона с поверхности твердого тела, нужно совершить работу против сил электростатического притяжения.

Такая работа называется работой выхода. Т.А. Эдисон обнаружил, что ток может возникнуть, если один из имеющихся электродов нагреть до высокой температуры. Явление испускания свободных электронов с поверхности нагретого тела называется термоэлектронным элементом. Это явление объясняется тем, что при повышении температуры тела, увеличивается кинетическая энергия некоторой части электронов в веществе. Если эта энергия превысит работу выхода, то он может преодолеть силы притяжения и выйти с поверхности тела в вакуум. На этом явлении основана работа электронных ламп.

Простейшей электронной лампой является диод. Он состоит из вакуумного баллона (стеклянный или керамический), двух электродов, анода и катода. Катод – проволочная спираль с двумя выводами для подключения к источнику тока. Второй электрод – анод – металлический диск или цилиндр.

При подключении к источнику тока катод нагревается, с его поверхности испускаются электроны. Если нет электрического поля,

часть электронов достигает анода. Если есть поле электрическое между электродами, то в цепи течет ток.

Через диод ток может протекать только тогда, когда нить накала является катодом. Поэтому он используется в превращении переменного тока в постоянный.

V. Закрепление изученного материала

- Можно ли создать электрический ток в вакууме?
- Что препятствует выходу электронов с поверхности тел?
- Что называется работой выхода?
- Какими заряженными частицами может создаваться электрический ток в вакууме?
- Как устроен вакуумный диод?
- Для чего применяют вакуумный диод?
- Как устроена электронно-лучевая трубка?

VI. Подведение итогов урока

Домашнее задание

п. 81.

Задачи № 373–376.

Урок 54. Электромагнитная волна

(см. Урок 52, Мякишев)

Урок 55. Распространение электромагнитных волн

(см. Урок 51, Мякишев)

Урок 56. Спектр электромагнитных волн

(см. Урок 98, Мякишев)

Урок 57. Радио и СВЧ-волны в средствах связи

(см. Урок 54, Мякишев)

Урок 58. Принцип радиосвязи

(см. Урок 55, Мякишев)

Урок 59. Лабораторная работа по теме «Сборка простейшего радиоприемника»

(см. Урок 56, Мякишев)

Урок 60. Влияние искусственных и естественных электромагнитных полей на живые организмы

(см. Урок 58, Мякишев)

Урок 61. Повторение темы «Электромагнитные волны»

(см. Урок 59, Мякишев)

Урок 62. Блиц-турнир «Механические и электромагнитные волны»

(см. Урок 57, Мякишев)

Урок 63. Развитие взглядов на природу света

(см. Урок 60, Мякишев)

Урок 64. Опытное определение скорости света

(см. Урок 61, Мякишев)

Урок 65. Принцип Гюйгенса

(см. Урок 63, Мякишев)

Урок 66. Отражение волн

(см. Урок 63, Мякишев)

Урок 67. Преломление волн

(см. Урок 62, Мякишев)

Урок 68. Решение задач

(см. Урок 64, Мякишев)

Урок 69. Решение задач по теме «Плоскопараллельная пластинка»

(см. Урок 65, Мякишев)

Урок 70. Полное внутреннее отражение

(см. Урок 66, Мякишев)

Урок 71. Решение задач

(см. Урок 67, Мякишев)

Урок 72. Дисперсия света

(см. Урок 78, Мякишев)

Урок 73. Лабораторная работа по теме «Измерение показателя преломления стекла»

(см. Урок 68, Мякишев)

Урок 74. Линзы

(см. Урок 69, Мякишев)

Урок 75. Решение задач по теме «Собирающая линза»

(см. Урок 70, Мякишев)

Урок 76. Решение задач по теме «Рассеивающая линза»

(см. Урок 71, Мякишев)

Урок 77. Лабораторная работа по теме «Определение фокусного расстояния линзы»

(см. Урок 72, Мякишев)

Урок 78. Глаз. Лупа

(см. Урок 73, Мякишев)

Урок 79. Лабораторная работа по теме «Изучение моделей оптических приборов»

(см. Урок 74, Мякишев)

Урок 80. Решение задач

(см. Урок 75, Мякишев)

Урок 81. Лабораторная работа по теме «Определение разрешающей способности глаза»

(см. Урок 76, Мякишев)

Урок 82. Контрольная работа по теме «Оптика»

(см. Урок 77, Мякишев)

Урок 83. Интерференция света

(см. Урок 79, Мякишев)

Урок 84. Дифракция света

(см. Урок 80, Мякишев)

Урок 85. Лабораторная работа по теме «Наблюдение интерференции и дифракции»

(см. Урок 81, Мякишев)

Урок 86. Дифракционная решетка

(см. Урок 82, Мякишев)

Урок 87. Лабораторная работа по теме «Измерение длины волны»

(см. Урок 85, Мякишев)

Урок 88. Поляризация света

(см. Урок 84, Мякишев)

Урок 89. Обобщающий урок по теме «Оптика»

(см. Урок 85, Мякишев)

Урок 90. Тепловое излучение

(см. Урок 92, Мякишев)

Урок 91. Лабораторная работа

(см. Урок 93, Мякишев)

Урок 92. Спектры и спектральный анализ

(см. Урок 94, Мякишев)

Урок 93. Лабораторная работа по теме «Наблюдение спектров»

(см. Урок 95, Мякишев)

Урок 94. Инфракрасное и ультрафиолетовое излучение

(см. Урок 96, Мякишев)

Урок 95. Рентгеновское излучение

(см. Урок 97, Мякишев)

Урок 96. Обобщающий урок по теме «Излучение»
(см. Урок 99, Мякишев)

Урок 100. Фотоэффект
(см. Урок 101, Мякишев)

Урок 101. Решение задач
(см. Урок 102, Мякишев)

Урок 102. Лабораторная работа
(см. Урок 103, Мякишев)

Урок 103. Фотоны
(см. Урок 104, Мякишев)

Урок 104. Решение задач
(см. Урок 105, Мякишев)

Урок 105. Решение задач
(см. Урок 106, Мякишев)

Урок 107. Фотоэффект и его применение
(см. Урок 107, Мякишев)

Урок 108. Контрольная работа
(см. Урок 108, Мякишев)

Урок 109. Давление света
(см. Урок 109, Мякишев)

Урок 110. Строение атома
(см. Урок 111, Мякишев)

Урок 111. Квантовые постулаты Бора. Трудности теории Бора
(см. Урок 112, Мякишев)

Урок 112. Лазеры
(см. Урок 113, Мякишев)

Урок 113. Обобщающий урок

(см. Урок 114, Мякишев)

Урок 114. Радиоактивность

(см. Урок 115, Мякишев)

Урок 116. Методы регистрации заряженных частиц

(см. Урок 116, Мякишев)

Урок 117. Лабораторная работа

(см. Урок 117, Мякишев)

Урок 118. Строение атомного ядра

(см. Урок 118, Мякишев)

Урок 119. Ядерная энергия связи. Дефект масс

(см. Урок 119, Мякишев)

Урок 120. Закон радиоактивного распада

(см. Урок 121, Мякишев)

Урок 121. Открытие нейтрона

(см. Урок 122, Мякишев)

Урок 122. Деление ядер урана

(см. Урок 123, Мякишев)

Урок 123. Решение задач

(см. Урок 124, Мякишев)

Урок 124. Решение задач

(см. Урок 125, Мякишев)

Урок 125. Контрольная работа

(см. Урок 126, Мякишев)

Урок 126. Цепная ядерная реакция

(см. Урок 127, Мякишев)

Урок 128. Термоядерная реакция

(см. Урок 128, Мякишев)

Урок 129. Ядерный реактор

(см. Урок 129, Мякишев)

Урок 130. Атомная энергетика

(см. Урок 130, Мякишев)

Урок 131. Биологическое действие радиоактивного измерения

(см. Урок 131, Мякишев)

Урок 132. Зарождение физики элементарных частиц

(см. Урок 132, Мякишев)

Урок 133. Элементарные частицы и их классификация

(см. Урок 133, Мякишев)

Уроки № 133–136

Резервные.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Учебно-методическое пособие

В ПОМОЩЬ ШКОЛЬНОМУ УЧИТЕЛЮ

Волков Владимир Анатольевич

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ПОУРОЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ ПО ФИЗИКЕ

11 класс

Дизайн обложки *Екатерины Бедриной*

Налоговая льгота –
Общероссийский классификатор продукции ОК 005-93-953000.
Издательство «ВАКО»
Подписано к печати с диапозитивов 22.07.2009.
Формат 84×108/32. Печать офсетная. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. листов 24,36. Тираж 5000 экз. Заказ № 3477.

Отпечатано в полном соответствии с качеством
предоставленных диапозитивов в ОАО «Дом печати — ВЯТКА»
610033, г. Киров, ул. Московская, 122
Факс: (8332) 25-58-83, 53-53-80
http://www.gipp.kirov.ru
e-mail: pto@gipp.kirov.ru

Пособие содержит полный комплект поурочных планов для проведения уроков физики в 11 классе по учебникам Г.Я. Мякишева, Б.Б. Буховцева (М.: Просвещение) и В.А. Касьянова (М.: Дрофа).

Пособие полностью автономно — содержит все необходимые учителю материалы: развернутые планы уроков, справочный и тестовый материал, контрольные и самостоятельные работы. Будет полезно как начинающим педагогам, так и преподавателям со стажем.

- **Подробные планы уроков**
- **Дополнительные материалы**
- **Исторические обзоры**
- **Демонстрационные эксперименты**
- **Лабораторные, самостоятельные и контрольные работы**
- **Тестовые задания**

ISBN 978-5-94665-981-9

